idegsejtmodellek paraméterbecslése valószínűségi keretben

Terbe Dániel
témavezető: Káli Szabolcs

2017. április 6.

MTA koki

paraméterbecslés áttekintése

Paraméter optimalizáció

Standard automatizált paraméteroptimalizációs eljárás:
Mi kell a paraméterek becsléséhez?

- **Matematikai modell**, amellyel szimulálható az idegsejt.
- **Kísérleti adatok** az idegsejt stimulusra adott válaszáról.

A modellünk által szolgáltatott eredményt illesztjük a valós kísérleti eredményekhez.

A legjobban illeszkedő modell paramétereit keressük.

Paraméter optimalizáció

Standard automatizált paraméteroptimalizációs eljárás:
Mi kell a paraméterek becsléséhez?

Matematikai modell, amellyel szimulálható az idegsejt.

Kísérleti adatok az idegsejt stimulusra adott válaszáról.

A modellünk által szolgáltatott eredményt illesztjük a valós kísérleti eredményekhez.

A legjobban illeszkedő modell paramétereit keressük.

Paraméter optimalizáció

Standard automatizált paraméteroptimalizációs eljárás:
Mi kell a paraméterek becsléséhez?

- **Matematikai modell**, amellyel szimulálható az idegsejt.
- **Kísérleti adatok** az idegsejt stimulusra adott válaszáról.

A modellünk által szolgáltatott eredményt illesztjük a valós kísérleti eredményekhez.

A legjobban illeszkedő modell paramétereit keressük.

Paraméter optimalizáció

Standard automatizált paraméteroptimalizációs eljárás:
Mi kell a paraméterek becsléséhez?

Matematikai modell, amellyel szimulálható az idegsejt.

Kísérleti adatok az idegsejt stimulusra adott válaszáról.

A modellünk által szolgáltatott eredményt illesztjük a valós kísérleti eredményekhez.

A legjobban illeszkedő modell paramétereit keressük.

Paraméter optimalizáció

Standard automatizált paraméteroptimalizációs eljárás:
Mi kell a paraméterek becsléséhez?

Matematikai modell, amellyel szimulálható az idegsejt.

Kísérleti adatok az idegsejt stimulusra adott válaszáról.

A modellünk által szolgáltatott eredményt illesztjük a valós kísérleti eredményekhez.

A legjobban illeszkedő modell paramétereit keressük.

Paraméter optimalizáció

Mi a módszer hátulütője?

- Nem ad információt a becslés megbízhatóságáról.
- Mérés ismétlésével más paramétereket kaphatunk, mert az adatok zajosak.
- Nem mond semmit a paramétereink közötti összefüggésekről.

Ez adta a motivációt arra, hogy egy valószínűségi keretet alkossunk a probléma orvoslására.

Paraméter optimalizáció

Mi a módszer hátulütője?

Nem ad információt a becslés megbízhatóságáról.

Mérés ismétlésével más paramétereket kaphatunk, mert az adatok zajosak.

Nem mond semmit a paramétereink közötti összefüggésekről.

Ez adta a motivációt arra, hogy egy valószínűségi keretet alkossunk a probléma orvoslására.

Paraméter optimalizáció

Mi a módszer hátulütője?

- Nem ad információt a becslés megbízhatóságáról.
- Mérés ismétlésével más paramétereket kaphatunk, mert az adatok zajosak.
- Nem mond semmit a paramétereink közötti összefüggésekről.

Ez adta a motivációt arra, hogy egy valószínűségi keretet alkossunk a probléma orvoslására.

Paraméter optimalizáció

Mi a módszer hátulütője?

- Nem ad információt a becslés megbízhatóságáról.
- Mérés ismétlésével más paramétereket kaphatunk, mert az adatok zajosak.
- Nem mond semmit a paramétereink közötti összefüggésekről.

Ez adta a motivációt arra, hogy egy valószínűségi keretet alkossunk a probléma orvoslására.

Paraméter optimalizáció

Mi a módszer hátulütője?

- Nem ad információt a becslés megbízhatóságáról.
- Mérés ismétlésével más paramétereket kaphatunk, mert az adatok zajosak.
- Nem mond semmit a paramétereink közötti összefüggésekről.

Ez adta a motivációt arra, hogy egy valószínűségi keretet alkossunk a probléma orvoslására.

Valószínűségi keret

Olyan megoldást keresünk amely: Képes jellemezni a paraméterbecslés pontosságát.

Mindezt úgy, hogy eloszlást szolgáltat a paramétertér felett.

Valószínűségi keret

Olyan megoldást keresünk amely: Képes jellemezni a paraméterbecslés pontosságát.

Mindezt úgy, hogy eloszlást szolgáltat a paramétertér felett.

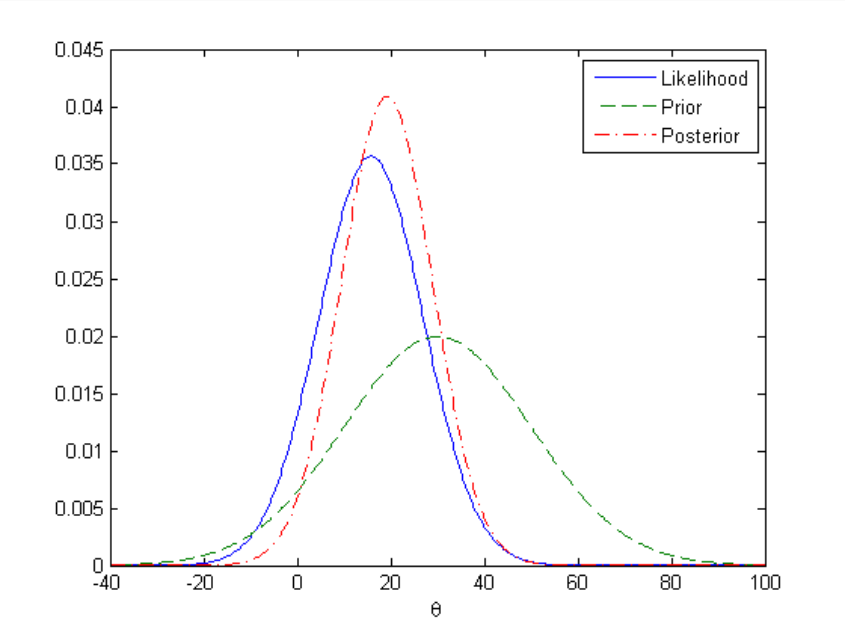
módszerek és megvalósítás

Bayesiánus valószínűség

A Bayesiánus inferencia módszere épp illeszkedik a problémára.

Bayesiánus valószínűség

$$\textit{poszterior} \propto \textit{likelihood} \cdot \textit{prior}$$



$P(\Theta)$: előzetes ismeretek

$P(D|\Theta)$: adatokból származó új információ

$P(\Theta|D)$: előző kettő kombinálása

$P(D)$: normalizáció

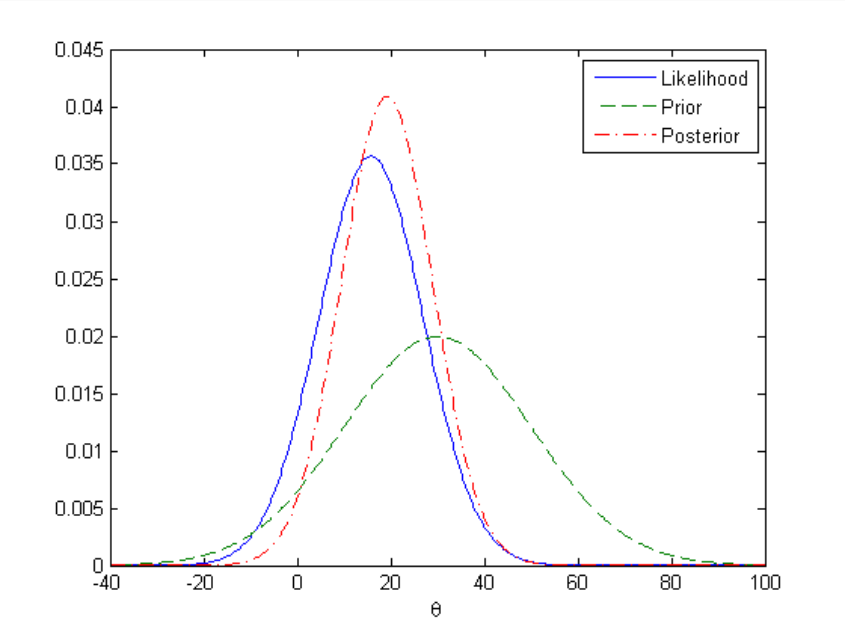
Bayesiánus valószínűség

$$\textit{poszterior} \propto \textit{likelihood} \cdot \textit{prior}$$

Bayes-egyenlet:

$$P(\Theta|D) = \frac{P(D|\Theta) \cdot P(\Theta)}{P(D)}$$

ahol D a kísérletből származó adatok és Θ a modell paraméterei.



$P(\Theta)$: előzetes ismeretek

$P(D|\Theta)$: adatokból származó új információ

$P(\Theta|D)$: előző kettő kombinálása

$P(D)$: normalizáció

Bayesiánus valószínűség

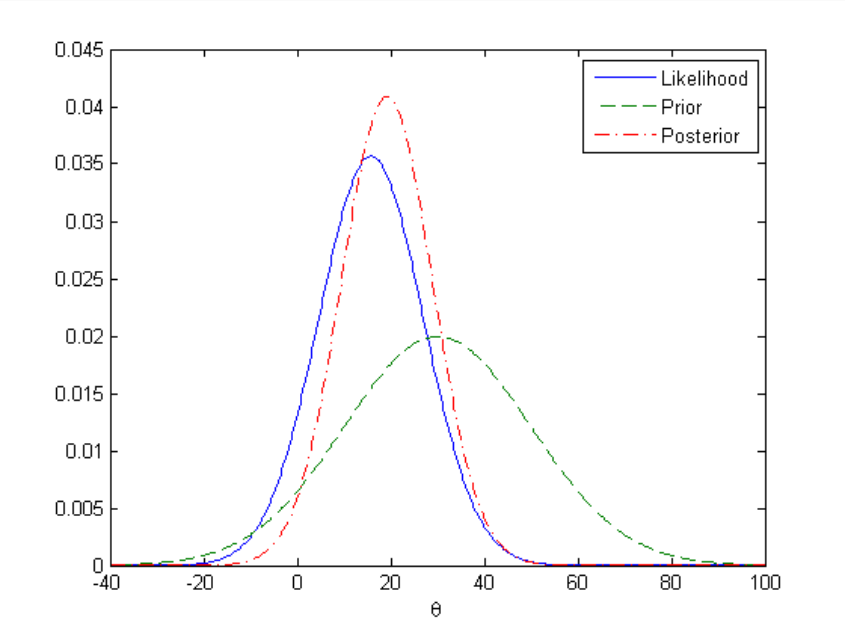
$$\textit{poszterior} \propto \textit{likelihood} \cdot \textit{prior}$$

Bayes-egyenlet:

$$P(\Theta|D) = \frac{P(D|\Theta) \cdot P(\Theta)}{P(D)}$$

ahol D a kísérletből származó adatok és Θ a modell paraméterei.

$$P(D) = \int P(D|\Theta) \cdot P(\Theta) d\Theta$$



$P(\Theta)$: előzetes ismeretek

$P(D|\Theta)$: adatokból származó új információ

$P(\Theta|D)$: előző kettő kombinálása

$P(D)$: normalizáció

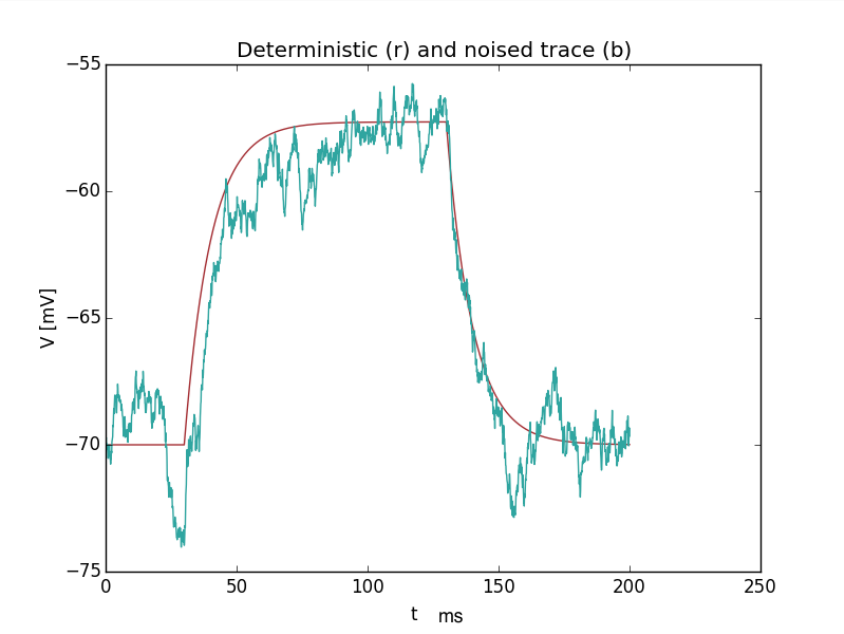
Likelihood eloszlás

Likelihood és zaj

Azzal a feltevéssel élünk, hogy kísérletben mért adatok a modell determinisztikus eredményéből és a rárakódott zajból születnek.

Likelihood és zaj

Azzal a feltevéssel élünk, hogy kísérletben mért adatok a modell determinisztikus eredményéből és a rárakódott zajból születnek.



$$D = M(\Theta) + z$$

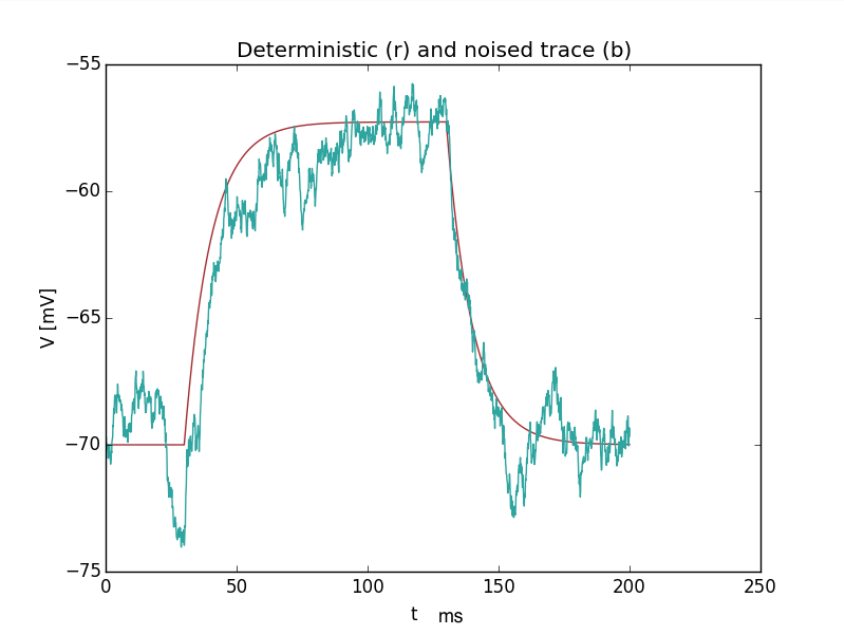
$$z = D - M(\Theta)$$

Adott statisztikai tulajdonságú zajból zajmodell alkotása.

$$P(D|\Theta) = P_z(D - M(\Theta))$$

Likelihood és zaj

Azzal a feltevéssel élünk, hogy kísérletben mért adatok a modell determinisztikus eredményéből és a rárakódott zajból születnek.



$$D = M(\Theta) + z$$

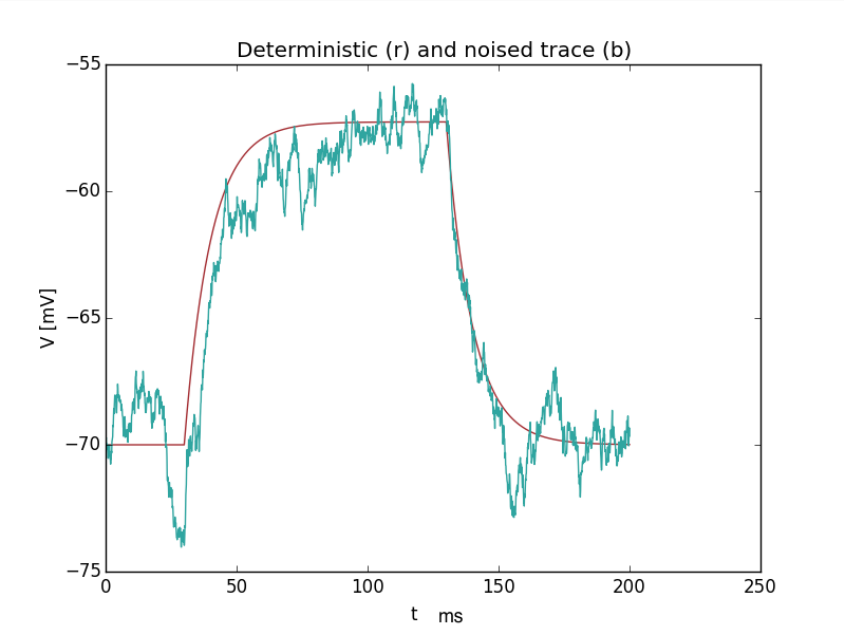
$$z = D - M(\Theta)$$

Adott statisztikai tulajdonságú zajból zajmodell alkotása.

$$P(D|\Theta) = P_z(D - M(\Theta))$$

Likelihood és zaj

Azzal a feltevéssel élünk, hogy kísérletben mért adatok a modell determinisztikus eredményéből és a rárakódott zajból születnek.



$$D = M(\Theta) + z$$

$$z = D - M(\Theta)$$

Adott statisztikai tulajdonságú zajból zajmodell alkotása.

$$P(D|\Theta) = P_z(D - M(\Theta))$$

Likelihood és Zaj

A becslés pontossága két fő tényezőből tevődik össze:

1. Milyen gyorsan változik a modell determinisztikus eredménye paramétereinek kis perturbációjára.
2. Kísérleti zaj szórásának nagysága.

Likelihood és Zaj

A becslés pontossága két fő tényezőből tevődik össze:

1. Milyen gyorsan változik a modell determinisztikus eredménye paramétereinek kis perturbációjára.
2. Kísérleti zaj szórásának nagysága.

Likelihood és Zaj

A becslés pontossága két fő tényezőből tevődik össze:

1. Milyen gyorsan változik a modell determinisztikus eredménye paramétereinek kis perturbációjára.
2. Kísérleti zaj szórásának nagysága.

Konkretizáljuk a módszert az esetünkre!

Konkretizálás

Ezt az általános módszert egy speciális problémakörre alkalmaztuk: passzív idegsejtek paramétereinek becslésére.

D	Passzív idegsejt áramlépcső stimulusra adott feszültségválasza. Adott időpillanatokban mért feszültségértékek vektora.
$M(\Theta)$	Passzív idegsejtet leíró modell determinisztikus eredménye adott paraméterek mellett (pl.: R_a, C_m, g_{pas}).
P_z	Zaj eloszlásának a normál eloszlást vettük. Használt zajmodellek: fehér, színes

Konkretizálás

Ezt az általános módszert egy speciális problémakörre alkalmaztuk: passzív idegsejtek paramétereinek becslésére.

D	Passzív idegsejt áramlépcső stimulusra adott feszültségválasza. Adott időpillanatokban mért feszültségértékek vektora.
$M(\Theta)$	Passzív idegsejtet leíró modell determinisztikus eredménye adott paraméterek mellett (pl.: R_a, C_m, g_{pas}).
P_z	Zaj eloszlásának a normál eloszlást vettük. Használt zajmodellek: fehér, színes

Konkretizálás

Ezt az általános módszert egy speciális problémakörre alkalmaztuk: passzív idegsejtek paramétereinek becslésére.

D	Passzív idegsejt áramlépcső stimulusra adott feszültségválasza. Adott időpillanatokban mért feszültségértékek vektora.
M(Θ)	Passzív idegsejtet leíró modell determinisztikus eredménye adott paraméterek mellett (pl.: R_a, C_m, g_{pas}).
P_z	Zaj eloszlásának a normál eloszlást vettük. Használt zajmodellek: fehér, színes

Konkretizálás

Ezt az általános módszert egy speciális problémakörre alkalmaztuk: passzív idegsejtek paramétereinek becslésére.

D	Passzív idegsejt áramlépcső stimulusra adott feszültségválasza. Adott időpillanatokban mért feszültségértékek vektora.
M(Θ)	Passzív idegsejtet leíró modell determinisztikus eredménye adott paraméterek mellett (pl.: R_a, C_m, g_{pas}).
P_z	Zaj eloszlásának a normál eloszlást vettük. Használt zajmodellek: fehér, színes

módszer alkalmazása, eredmények

Vizsgálatok áttekintése

(A) Vizsgálat menete:

1. Passzív idegsejtmodell és mérési protokoll összeállítása szimulációs környezetben (Neuron program).
2. Szintetikus adatok előállítása zajmodellek alkalmazásával.
3. Az inferencia alkalmazása az így létrehozott adatokra.
4. Sokszori ismétléssel statisztika felállítása.
5. Ezt elvégezzük különböző kísérleti összeállításokra és zajmodellekre.
6. Azt várjuk, hogy az inferencia pontossága függ ezektől.

Vizsgálatok áttekintése

(A) Vizsgálat menete:

1. Passzív idegsejtmodell és mérési protokoll összeállítása szimulációs környezetben (Neuron program).
2. Szintetikus adatok előállítása zajmodellek alkalmazásával.
3. Az inferencia alkalmazása az így létrehozott adatokra.
4. Sokszori ismétléssel statisztika felállítása.
5. Ezt elvégezzük különböző kísérleti összeállításokra és zajmodellekre.
6. Azt várjuk, hogy az inferencia pontossága függ ezektől.

Vizsgálatok áttekintése

(A) Vizsgálat menete:

1. Passzív idegsejtmodell és mérési protokoll összeállítása szimulációs környezetben (Neuron program).
2. Szintetikus adatok előállítása zajmodellek alkalmazásával.
3. Az inferencia alkalmazása az így létrehozott adatokra.
4. Sokszori ismétléssel statisztika felállítása.
5. Ezt elvégezzük különböző kísérleti összeállításokra és zajmodellekre.
6. Azt várjuk, hogy az inferencia pontossága függ ezektől.

Vizsgálatok áttekintése

(A) Vizsgálat menete:

1. Passzív idegsejtmodell és mérési protokoll összeállítása szimulációs környezetben (Neuron program).
2. Szintetikus adatok előállítása zajmodellek alkalmazásával.
3. Az inferencia alkalmazása az így létrehozott adatokra.
4. Sokszori ismétléssel statisztika felállítása.
5. Ezt elvégezzük különböző kísérleti összeállításokra és zajmodellekre.
6. Azt várjuk, hogy az inferencia pontossága függ ezektől.

Vizsgálatok áttekintése

(A) Vizsgálat menete:

1. Passzív idegsejtmodell és mérési protokoll összeállítása szimulációs környezetben (Neuron program).
2. Szintetikus adatok előállítása zajmodellek alkalmazásával.
3. Az inferencia alkalmazása az így létrehozott adatokra.
4. Sokszori ismétléssel statisztika felállítása.
5. Ezt elvégezzük különböző kísérleti összeállításokra és zajmodellekre.
6. Azt várjuk, hogy az inferencia pontossága függ ezektől.

Vizsgálatok áttekintése

(A) Vizsgálat menete:

1. Passzív idegsejtmodell és mérési protokoll összeállítása szimulációs környezetben (Neuron program).
2. Szintetikus adatok előállítása zajmodellek alkalmazásával.
3. Az inferencia alkalmazása az így létrehozott adatokra.
4. Sokszori ismétléssel statisztika felállítása.
5. Ezt elvégezzük különböző kísérleti összeállításokra és zajmodellekre.
6. Azt várjuk, hogy az inferencia pontossága függ ezektől.

Statisztika elemei

Felállított statisztikák:

1. Eltérés a valódi paraméterértéktől.
2. A kapott poszterior eloszlás élessége a priorhoz viszonyítva.

Statisztika elemei

Felállított statisztikák:

1. Eltérés a valódi paraméterértéktől.
2. A kapott poszterior eloszlás élessége a priorhoz viszonyítva.

egykompartmentumos modell

Egykompartmentumos modell

Egyetlen szóma passzív paramétereinek inferenciáját végeztük. Az ezt leíró modell:

$$C_m \frac{dV}{dt} = -g_{pas}(V - V_{rest}) + I_e$$

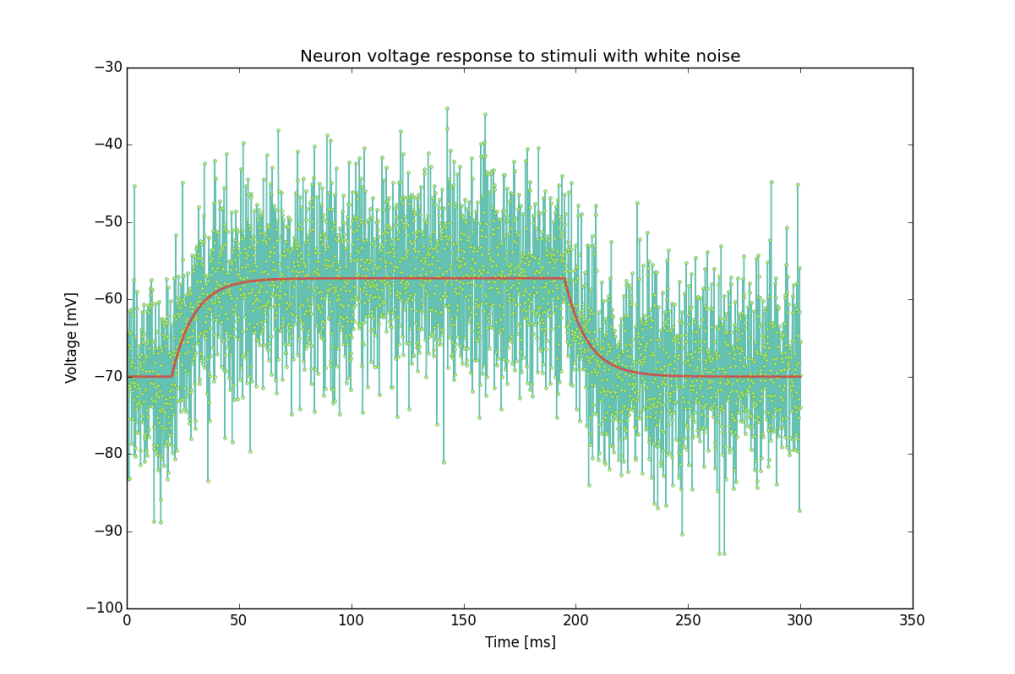
Először csak a C_m paramétert becsültük fehér zaj ($\sigma = 7[mV]$) mellett:

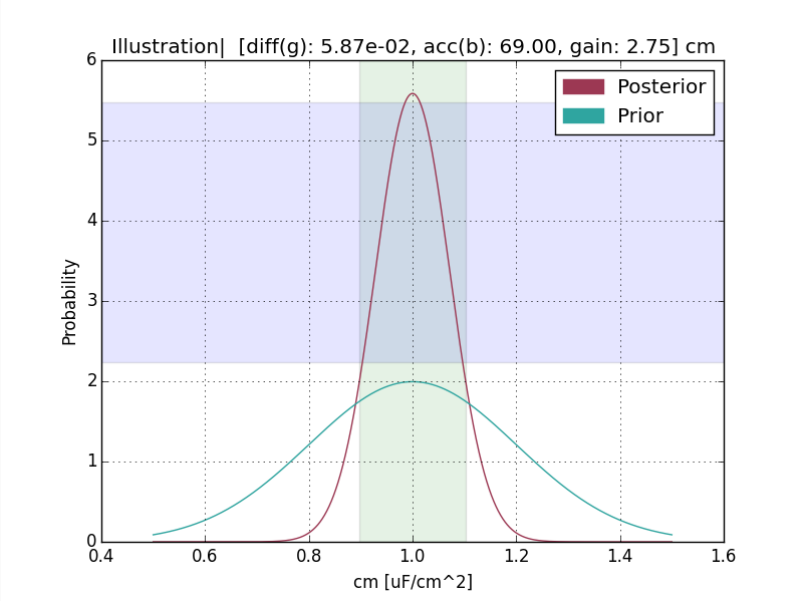
Egykompartmentumos modell

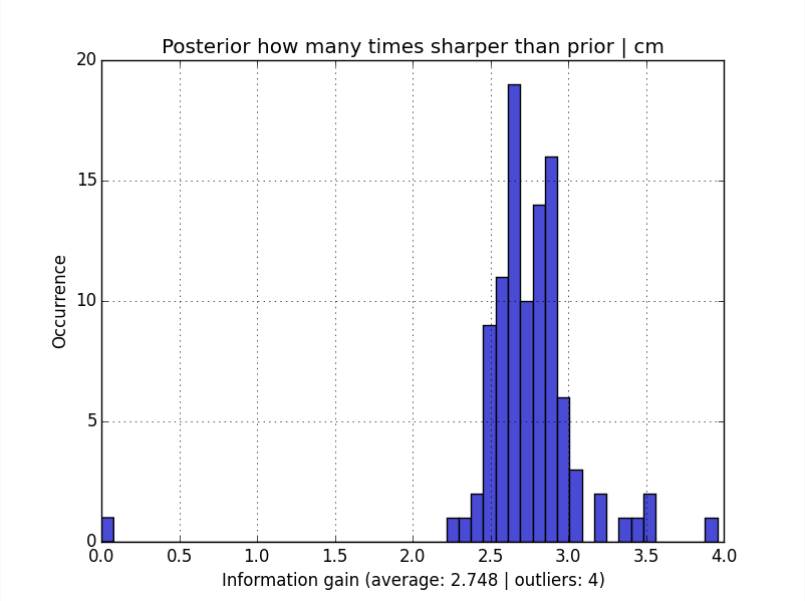
Egyetlen szóma passzív paramétereinek inferenciáját végeztük. Az ezt leíró modell:

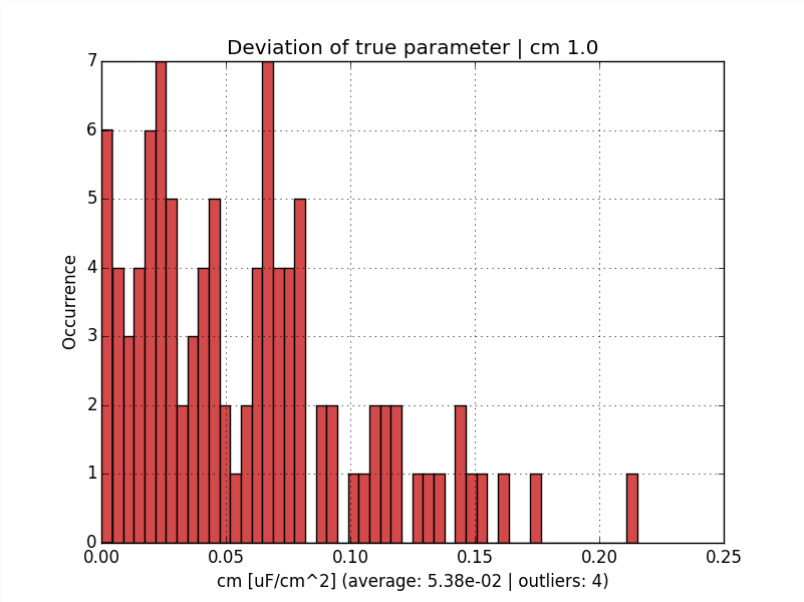
$$C_m \frac{dV}{dt} = -g_{pas}(V - V_{rest}) + I_e$$

Először csak a C_m paramétert becsültük fehér zaj ($\sigma = 7[mV]$) mellett:







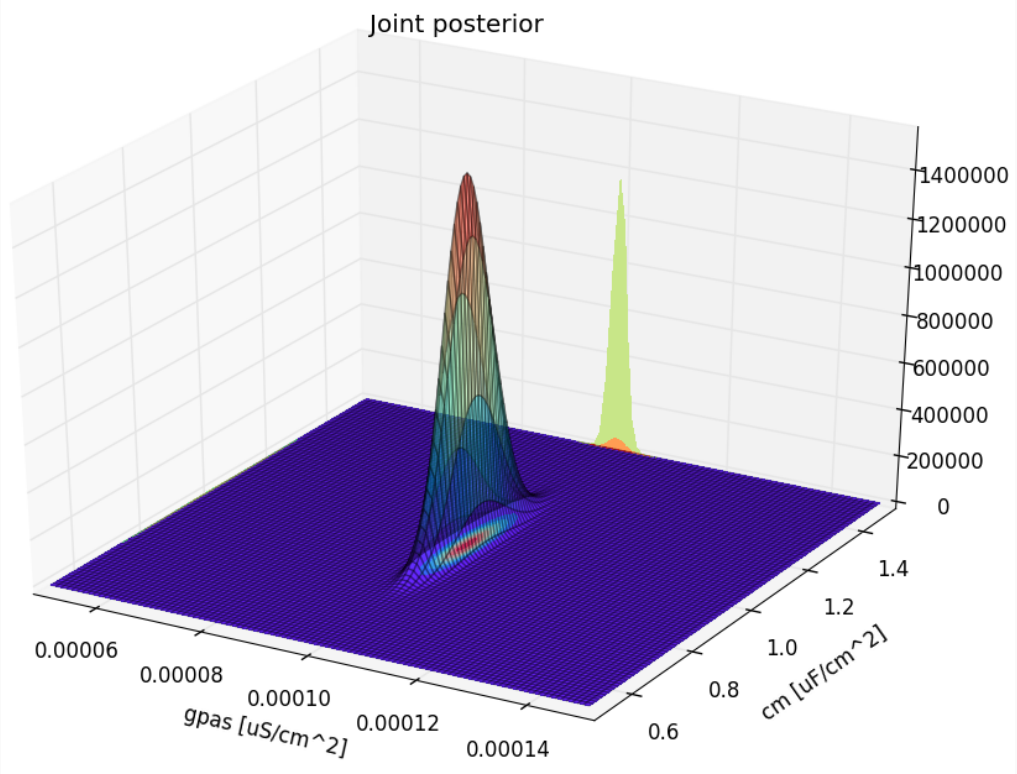


Piros a poszterior eloszlás, a kék pedig a prior. *cm* paraméter felbontása 100. Az ábrákon 100*db* ismétlés eredményei láthatók.

Két változóval

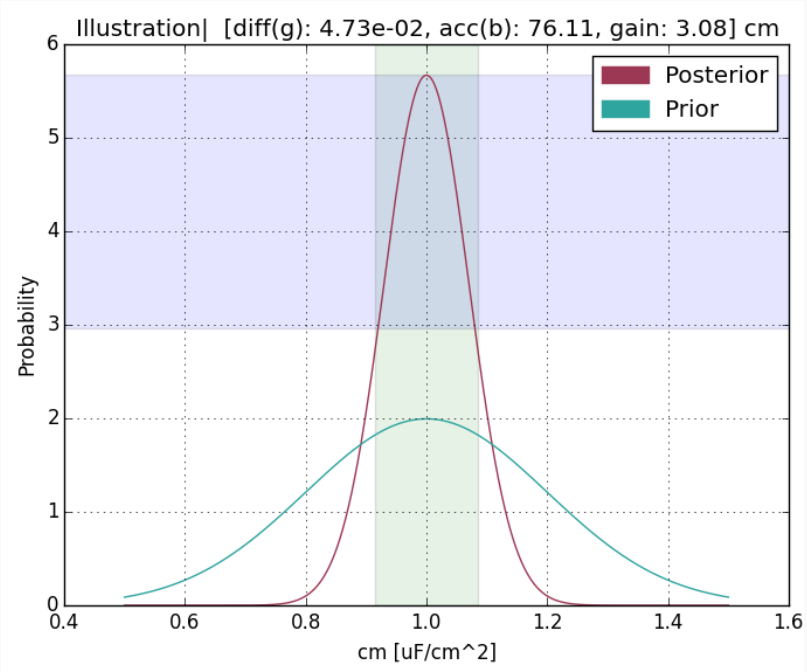
Két paraméter becslése egyszerre:

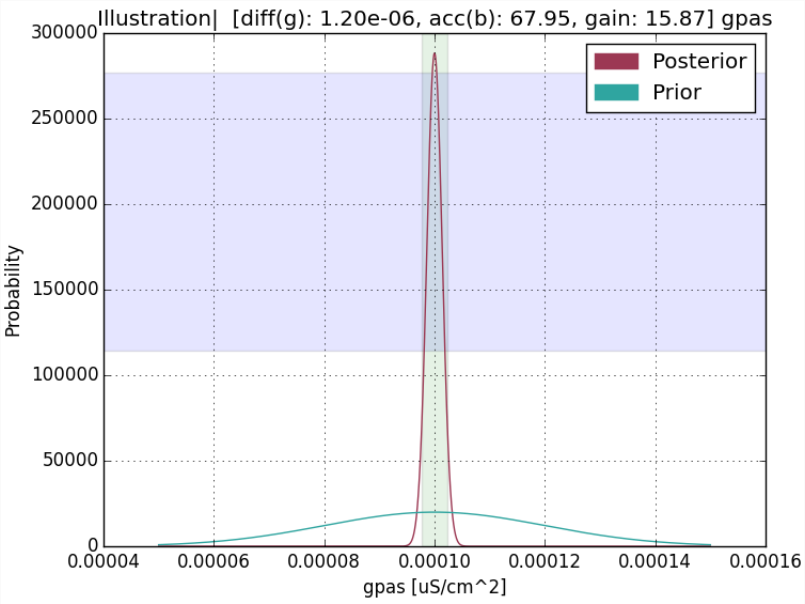
C_m paraméter becslését hogyan befolyásolja, hogy együtt inferáljuk g_{pas} paraméterrel?



ábra: A két paraméter együttes eloszlása

Mindkét paraméter mintavételezési felbontása 100, ez azt jelenti hogy egy együttes eloszlás létrehozásához 10′000 paraméterkombinációt próbáltunk ki. (Ez hozzájárul a *cm* paraméter pontosabb meghatározásához.)



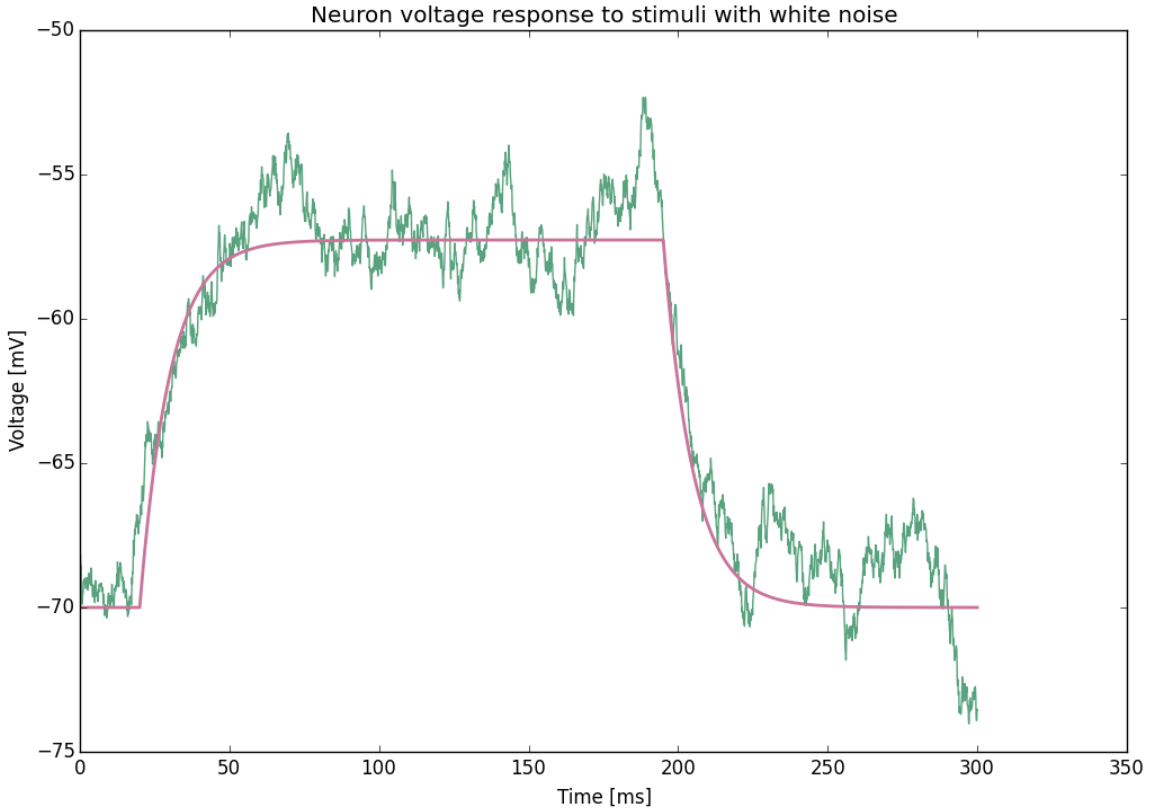


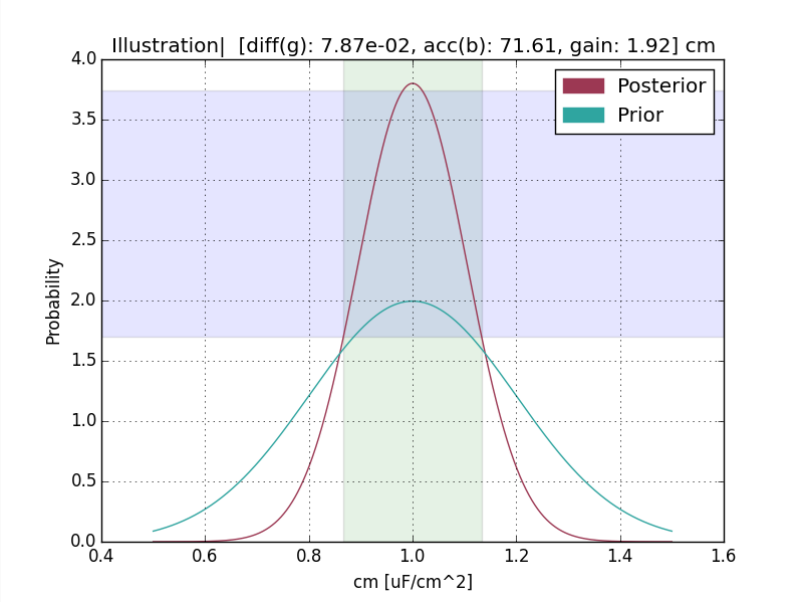
Mivel a g_{pas} paraméterünk eloszlása nagyon éles, ezért a C_m paraméter becslését nem rontja el.

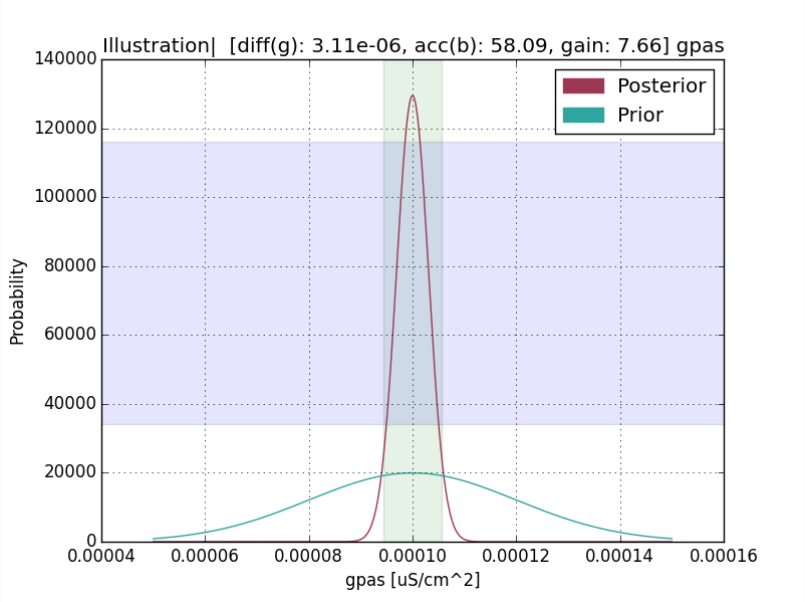
Egykompartmentumos modell színes zajjal

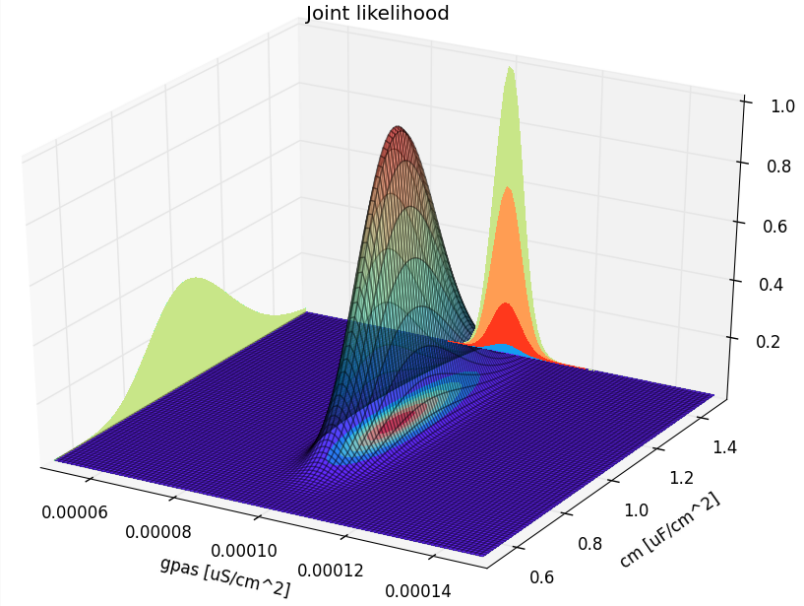
Egykompartmentumos modell és színes zaj

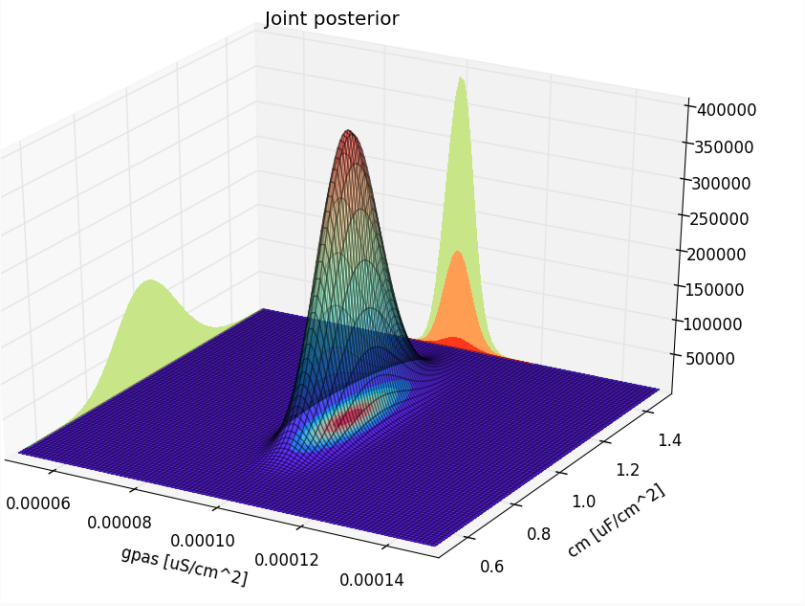
Exponenciálisan lecsengő autokorrelációval rendelkező színes zaj alkalmazása, ami egy realisztikusabb modellje a kísérleti zajoknak. A használt zaj amplitúdója: $3mV$




Illustration| [diff(g): 7.87e-02, acc(b): 71.61, gain: 1.92] cm
Posterior
Prior
Probability
cm [uF/cm^2]


Illustration| [diff(g): 3.11e-06, acc(b): 58.09, gain: 7.66] gpas
Posterior
Prior
Probability
gpas [uS/cm^2]


Joint likelihood
gpas [uS/cm^2]
cm [uF/cm^2]


Joint posterior
gpas [uS/cm^2]
cm [uF/cm^2]

Egy kompartmentumos modell színes zaj

Színes zaj következtében romlott a becslés pontossága, mivel kevesebb effektív mintánk van.

Annak ellenére romlik az inferencia, hogy a zaj amplitúdója kisebb!

Egy kompartmentumos modell színes zaj

Színes zaj következtében romlott a becslés pontossága, mivel kevesebb effektív mintánk van.

Annak ellenére romlik az inferencia, hogy a zaj amplitúdója kisebb!

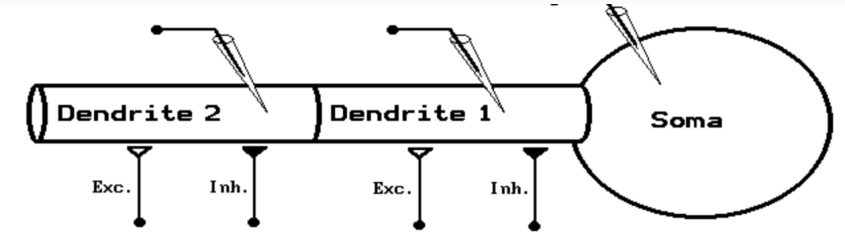
Térbelileg kiterjedt modell

Kétkompartmentumos modell

Egy szómához csatlakozó dendrit modellje. A hosszú kábelt kisebb összekapcsolódó kompartmentumokra bontjuk:

$$C_m \frac{dV_\mu}{dt} = -I_{m,tot} + g(V_{\mu+1} - V_\mu) + g(V_{\mu-1} - V_\mu)$$

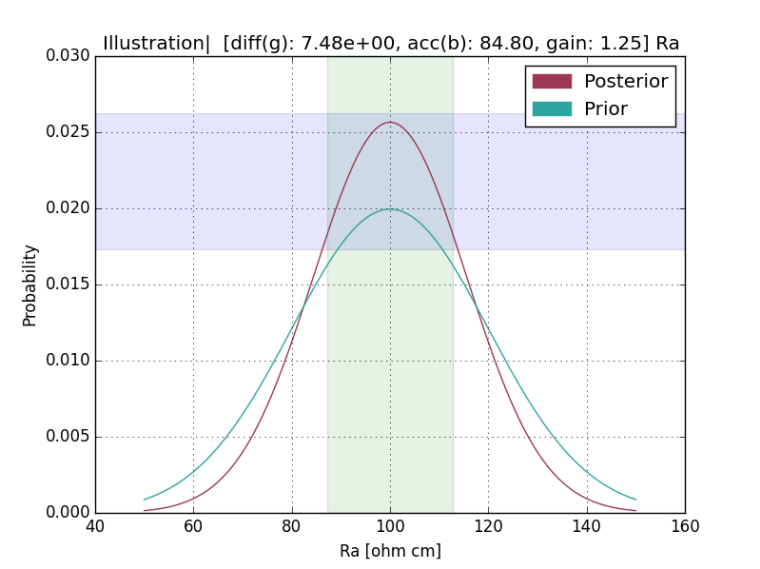
$$g = \frac{d^2\pi}{4R_a L}$$

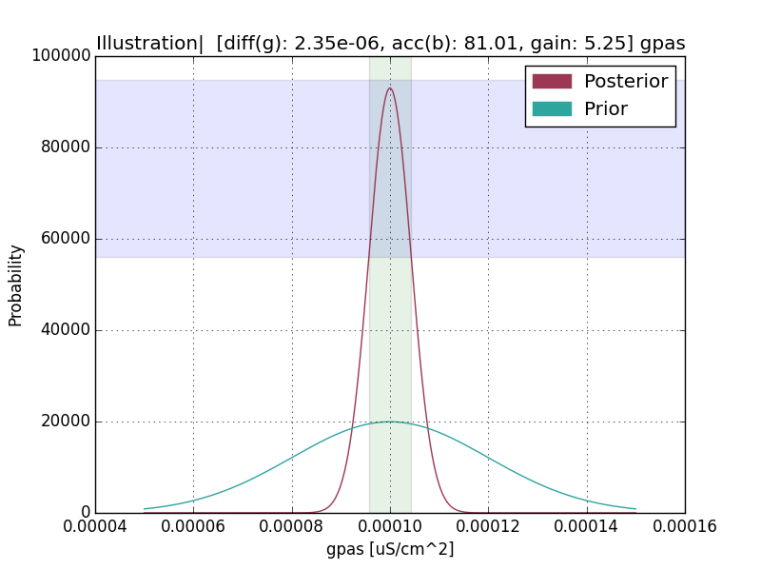


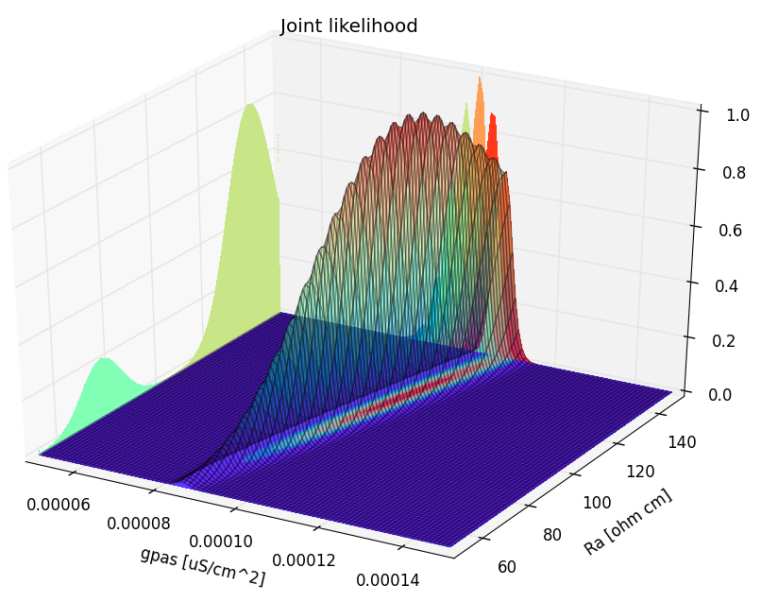
(Az ábra forrása: *http://www.genesis-sim.org/UGTD/Tutorials/cnslecs/neuron1.gif*)

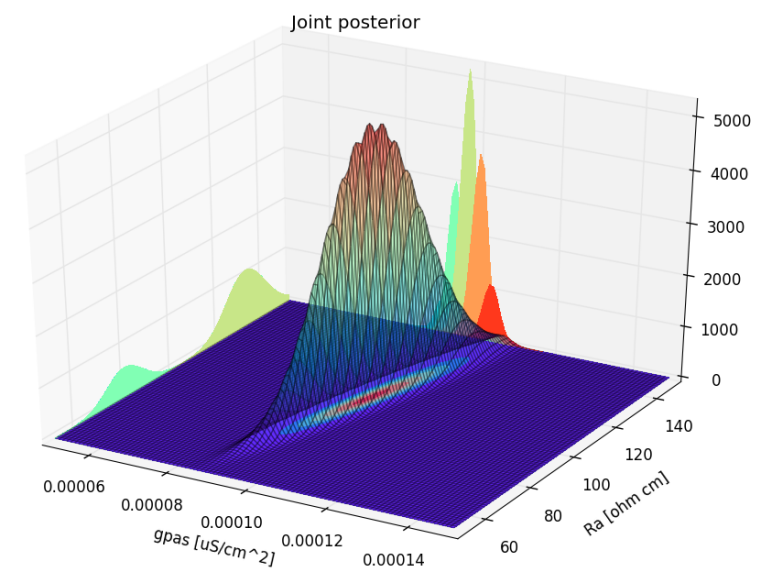
Kétkompartmentumos modell és fehér zaj

Azt várjuk, hogy a dendritre jellemző passzív paraméter (R_a), a fajlagos axiális ellenállás meghatározása kevésbé pontos, tisztán a szómán végzett mérésekből.


Illustration| [diff(g): 7.48e+00, acc(b): 84.80, gain: 1.25] Ra
Posterior
Prior
Probability
Ra [ohm cm]


Illustration| [diff(g): 2.35e-06, acc(b): 81.01, gain: 5.25] gpas
Posterior
Prior
Probability
gpas [uS/cm^2]


Joint likelihood
gpas [uS/cm^2]
Ra [ohm cm]

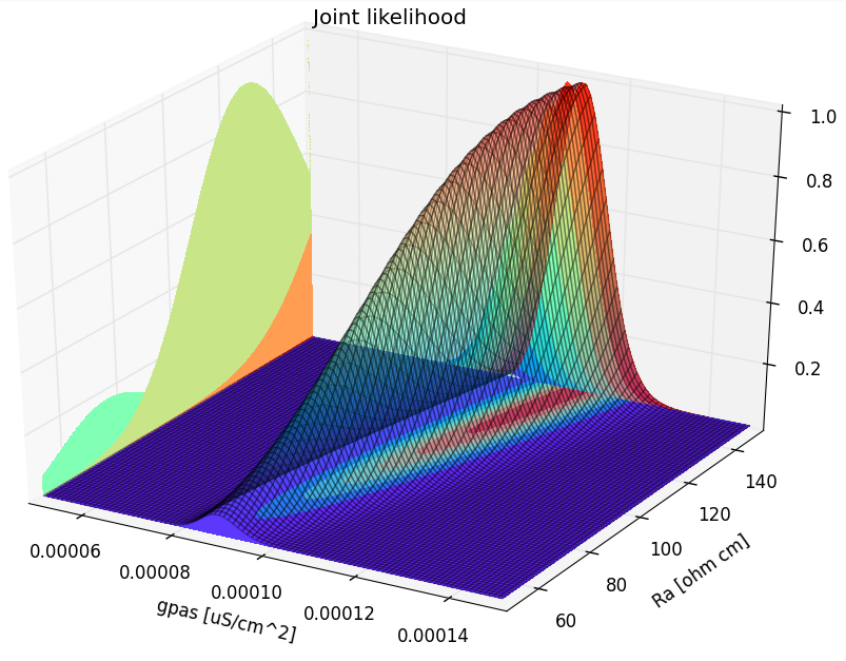

Joint posterior
gpas [uS/cm^2]
Ra [ohm cm]

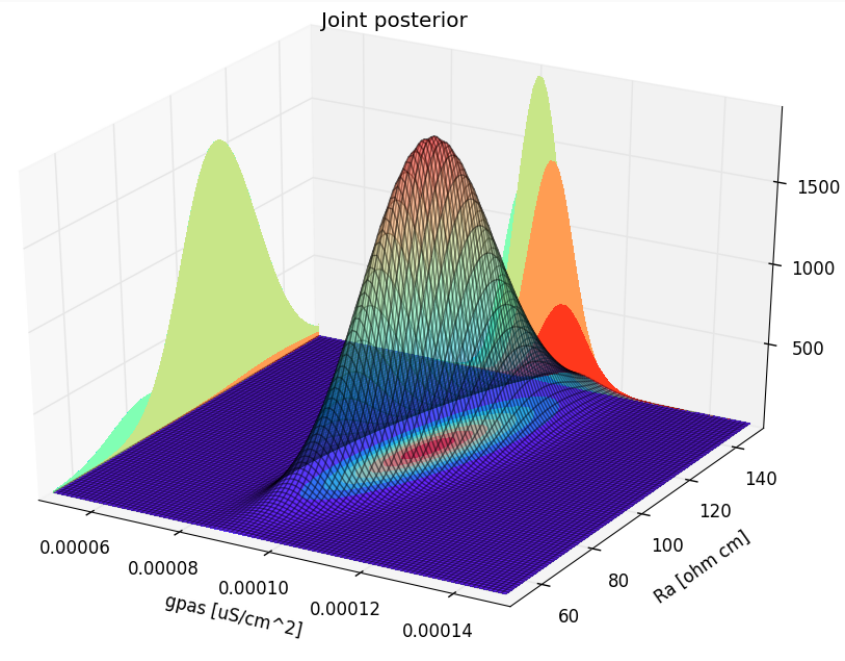
Színes zajjal

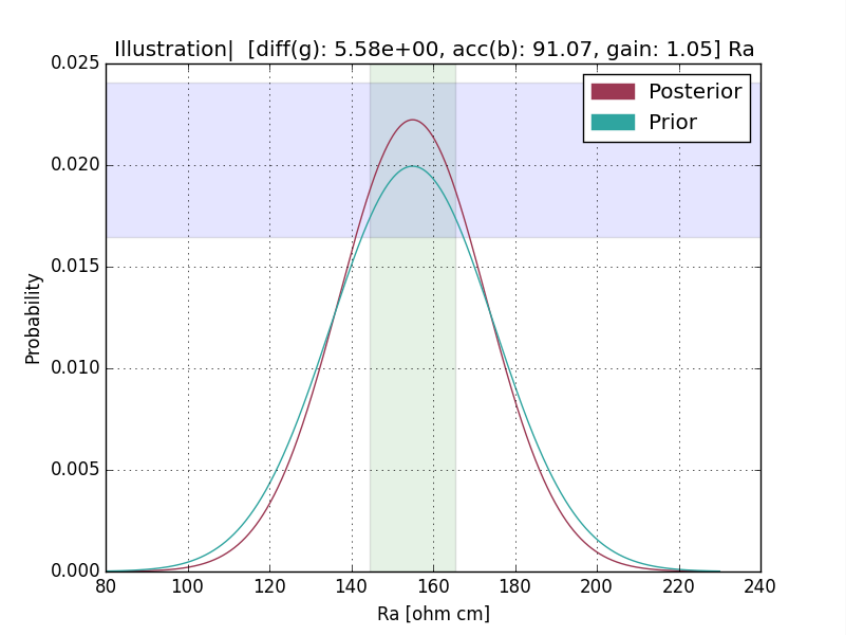
Kétkompartmentumos modell és színes zaj

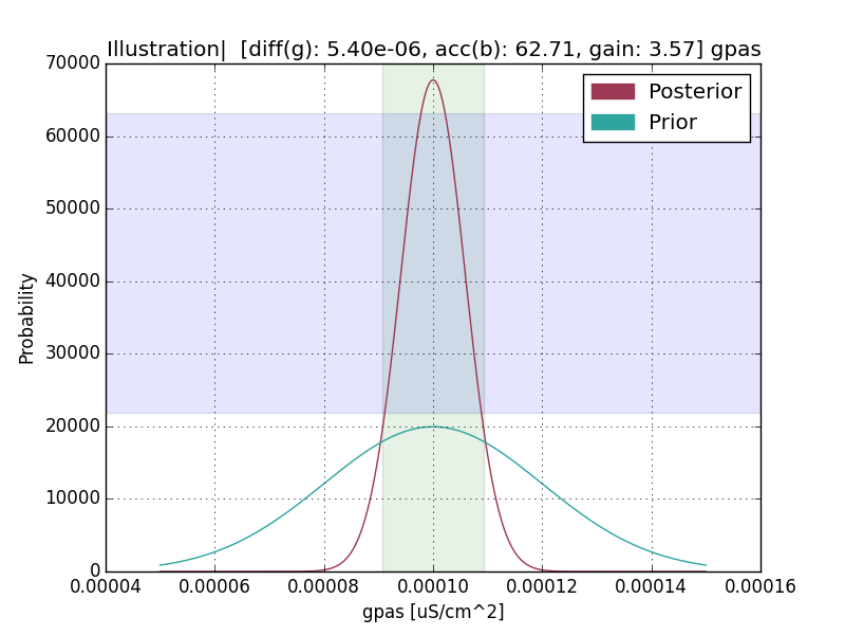
Színes zaj esetén még tovább csökken a becslés pontossága.

A levetített ellipszisek ferdék: A két paraméter egymással kölcsönhatva határozza meg az illesztés jóságát.



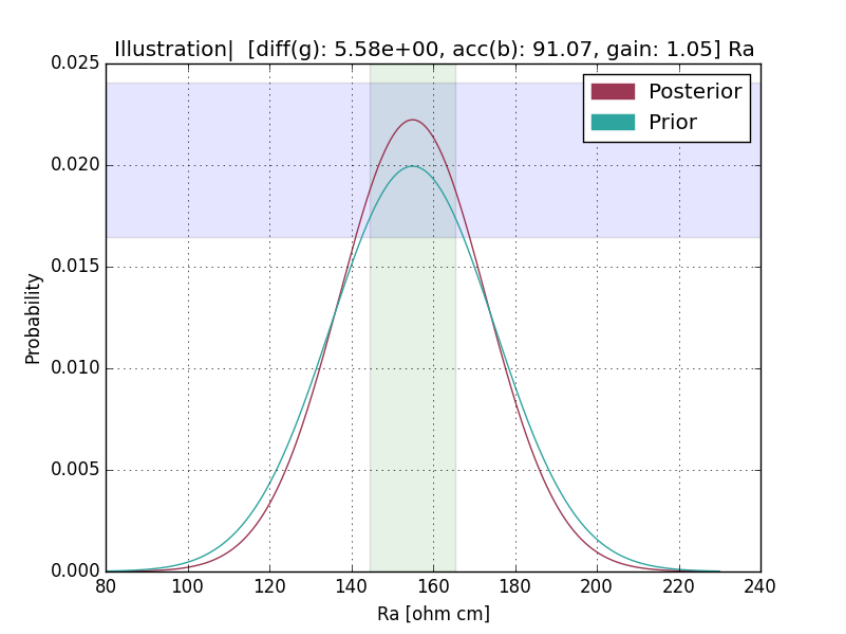


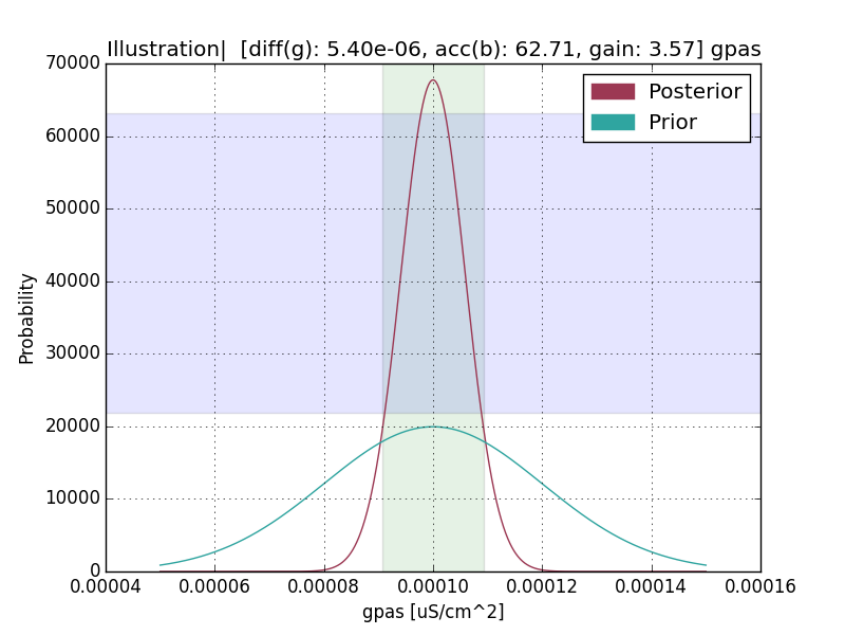




Két és több paraméter mellett nem túl nagy zaj is elég ahhoz, hogy ne lehessen megtalálni *Ra* paramétert, mert a modell nem érzékeny rá.

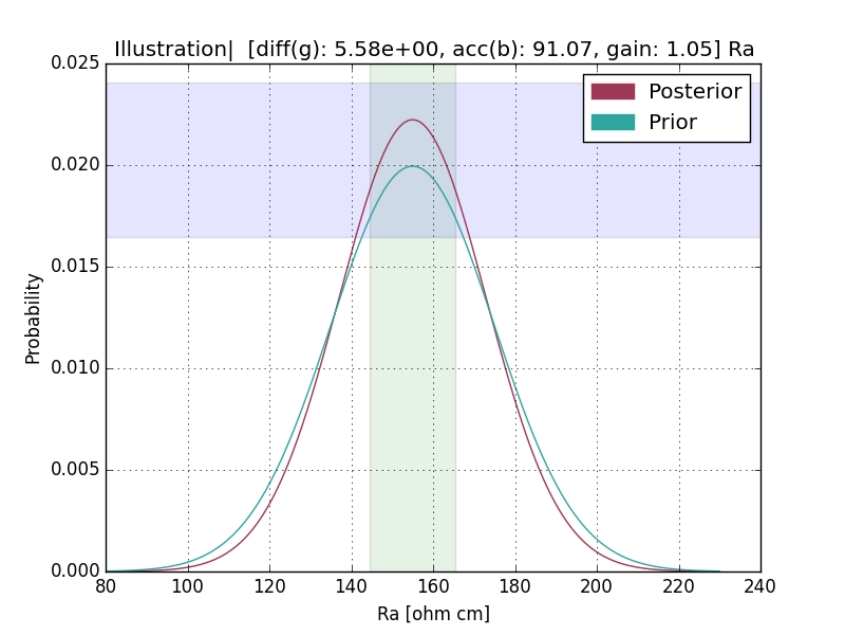
Három paraméteres becslés esetén már a 7-es szórású fehér zaj is gyakran úgy torzíthatja az eredményt, hogy *Ra* paraméter becslése nem működik.

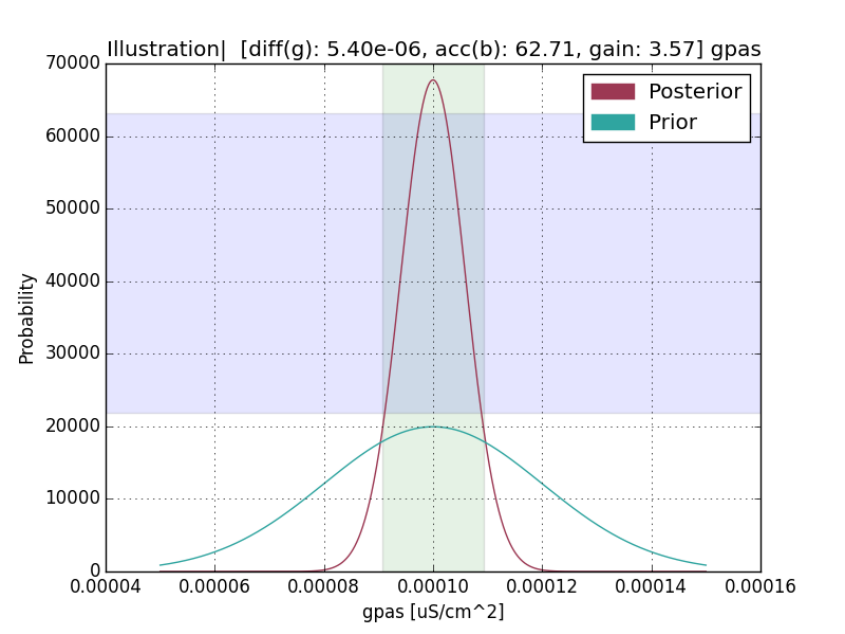




Két és több paraméter mellett nem túl nagy zaj is elég ahhoz, hogy ne lehessen megtalálni *Ra* paramétert, mert a modell nem érzékeny rá.

Három paraméteres becslés esetén már a 7-es szórású fehér zaj is gyakran úgy torzíthatja az eredményt, hogy *Ra* paraméter becslése nem működik.





Két és több paraméter mellett nem túl nagy zaj is elég ahhoz, hogy ne lehessen megtalálni *Ra* paramétert, mert a modell nem érzékeny rá.

Három paraméteres becslés esetén már a 7-es szórású fehér zaj is gyakran úgy torzíthatja az eredményt, hogy *Ra* paraméter becslése nem működik.

(B) Vizsgálat

Vizsgálatok áttekintése

(B) Vizsgálat:

- Azt vizsgáljuk, hogyan változik az inferencia pontossága különböző áramimpulzus bemenetekre adott feszültségválaszok használata esetén.

- Használt árambemenetek: (1) rövid, nagy amplitúdójú árambemenet, (2) hosszú, kisebb amplitúdójú áramlépcső, (3) az előző kettő együttes használata.

- Azt várjuk, hogy a becslés pontossága függ a kísérleti összeállítástól.

Vizsgálatok áttekintése

(B) Vizsgálat:

- Azt vizsgáljuk, hogyan változik az inferencia pontossága különböző áramimpulzus bemenetekre adott feszültségválaszok használata esetén.

- Használt árambemenetek: (1) rövid, nagy amplitúdójú árambemenet, (2) hosszú, kisebb amplitúdójú áramlépcső, (3) az előző kettő együttes használata.

- Azt várjuk, hogy a becslés pontossága függ a kísérleti összeállítástól.

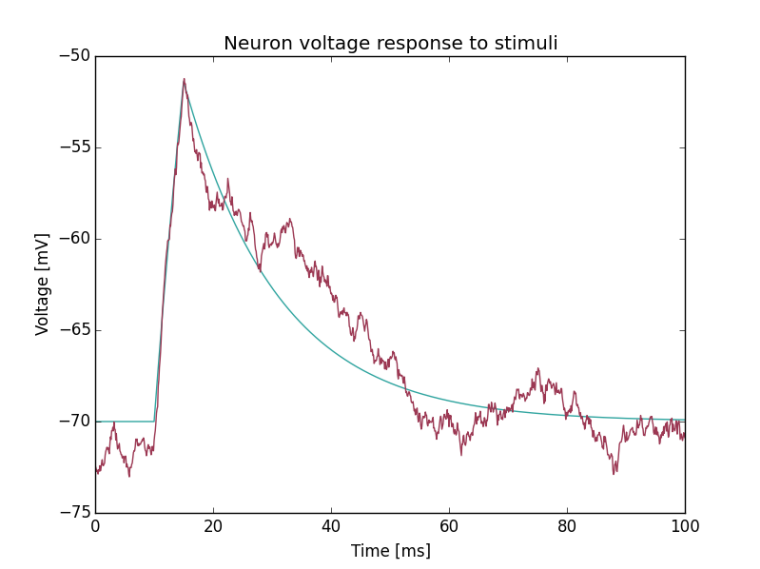
Vizsgálatok áttekintése

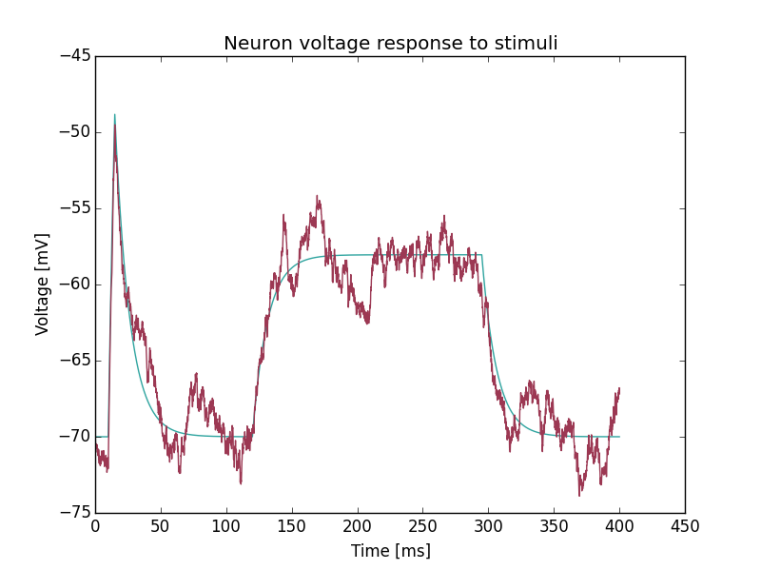
(B) Vizsgálat:

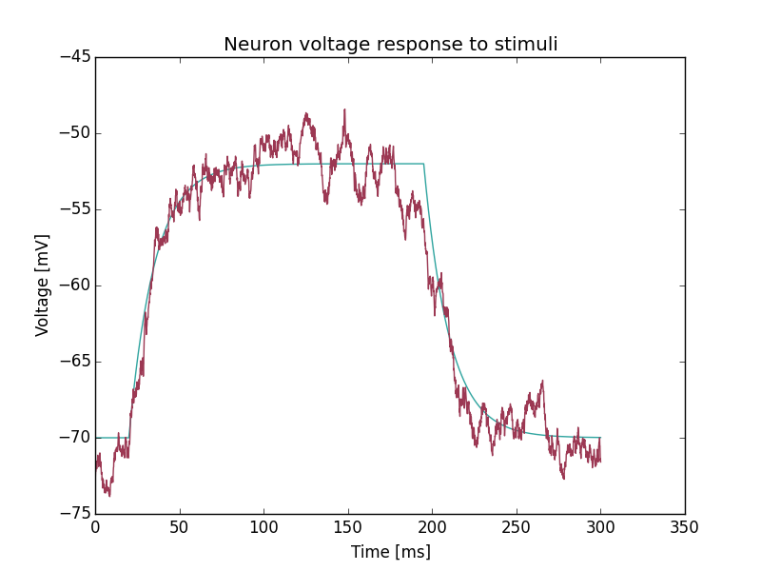
- Azt vizsgáljuk, hogyan változik az inferencia pontossága különböző áramimpulzus bemenetekre adott feszültségválaszok használata esetén.

- Használt árambemenetek: (1) rövid, nagy amplitúdójú árambemenet, (2) hosszú, kisebb amplitúdójú áramlépcső, (3) az előző kettő együttes használata.

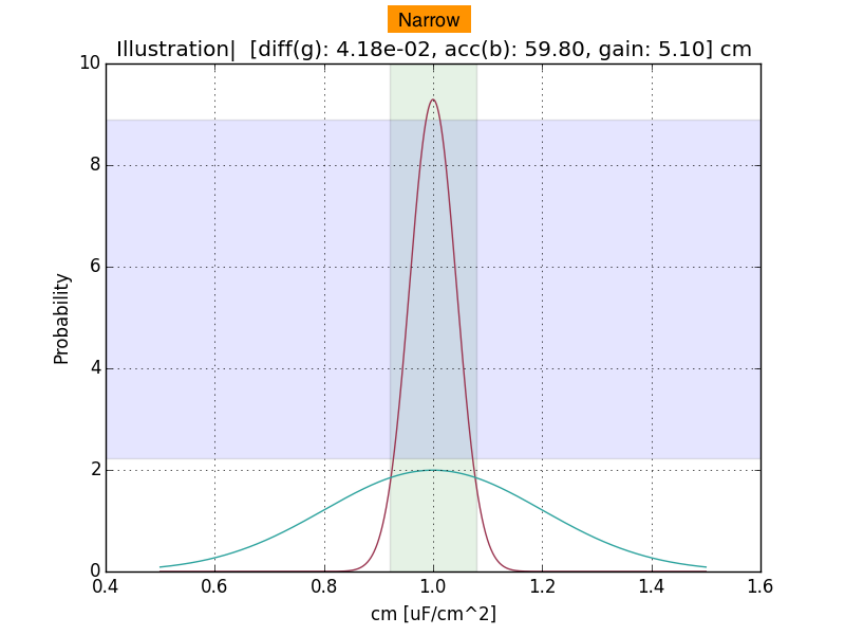
- Azt várjuk, hogy a becslés pontossága függ a kísérleti összeállítástól.

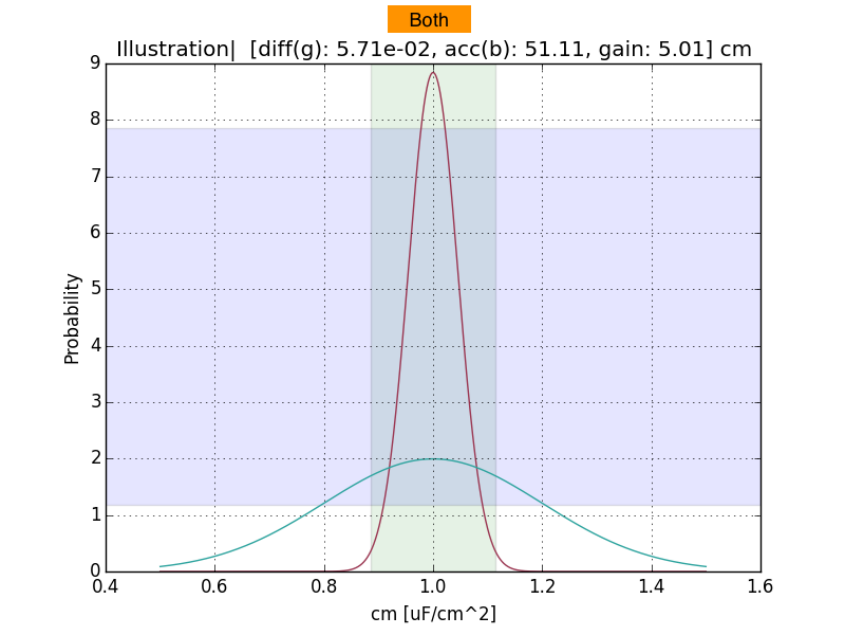


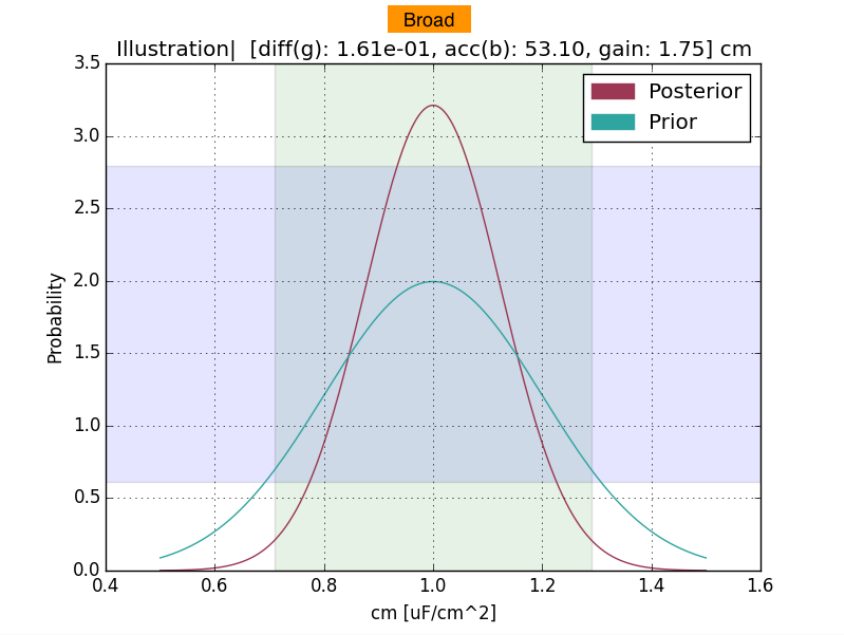




A háram különböző bemeneti stimulusra adott determinisztikus feszültségválasz és rárakott színes zaj. Egykompartmentumos modellt használtunk.

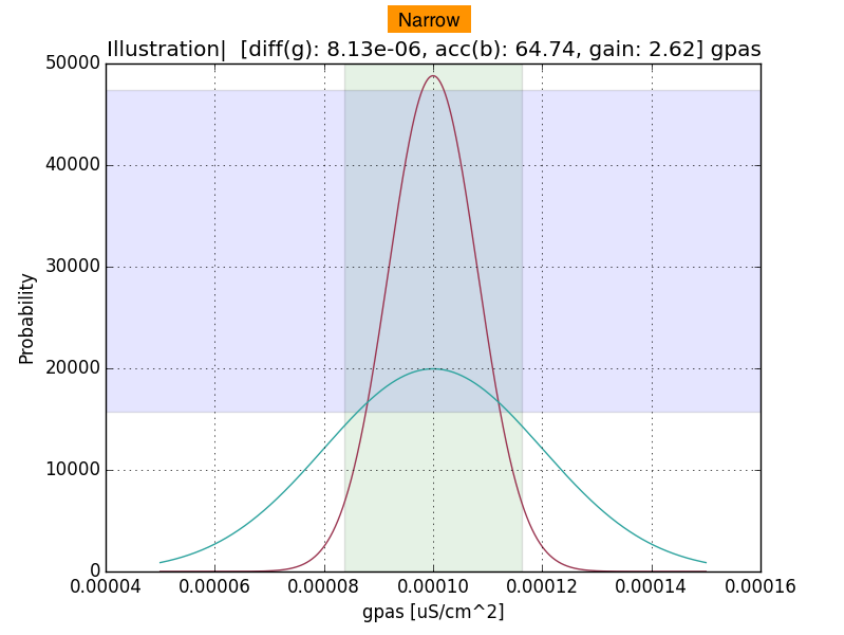


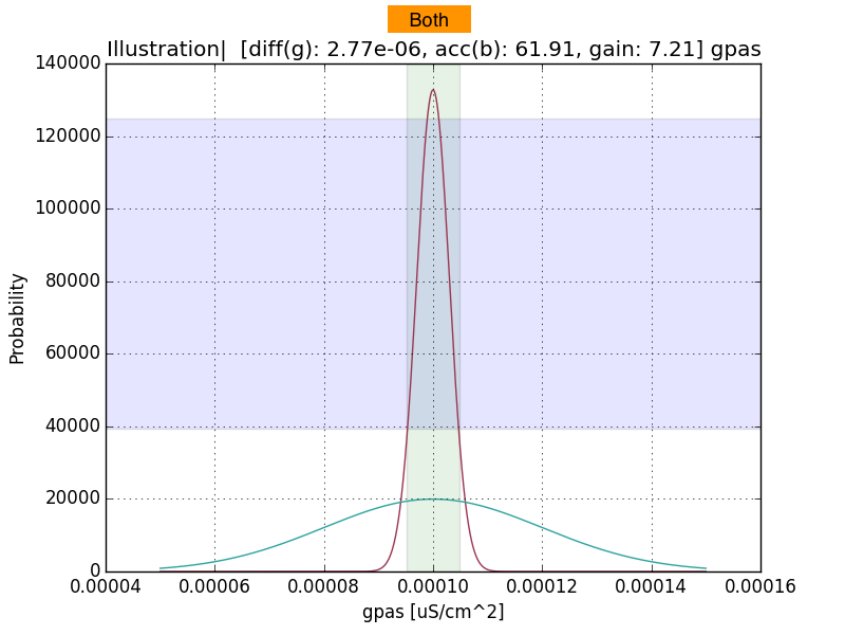


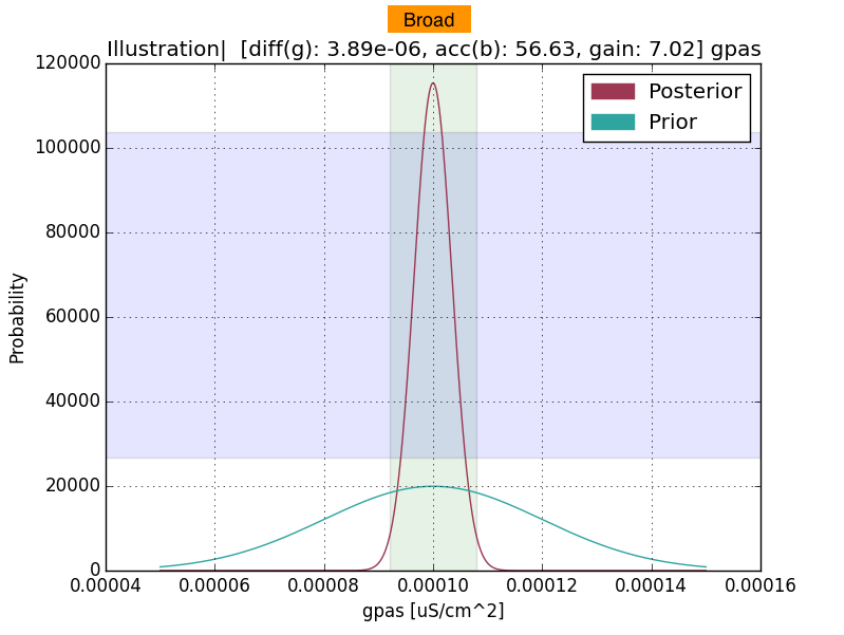


Eredmény

cm paraméternél a tranziens ágak számítanak!







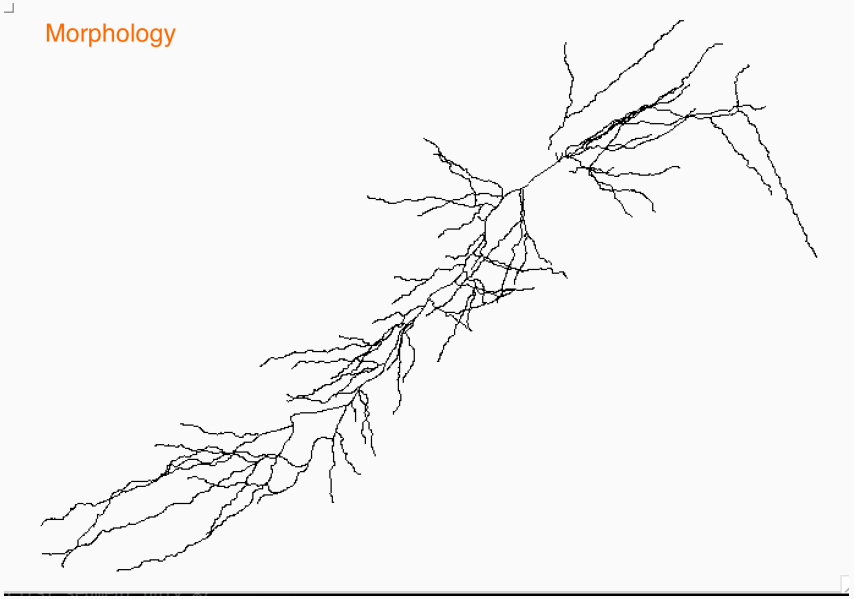
Eredmény

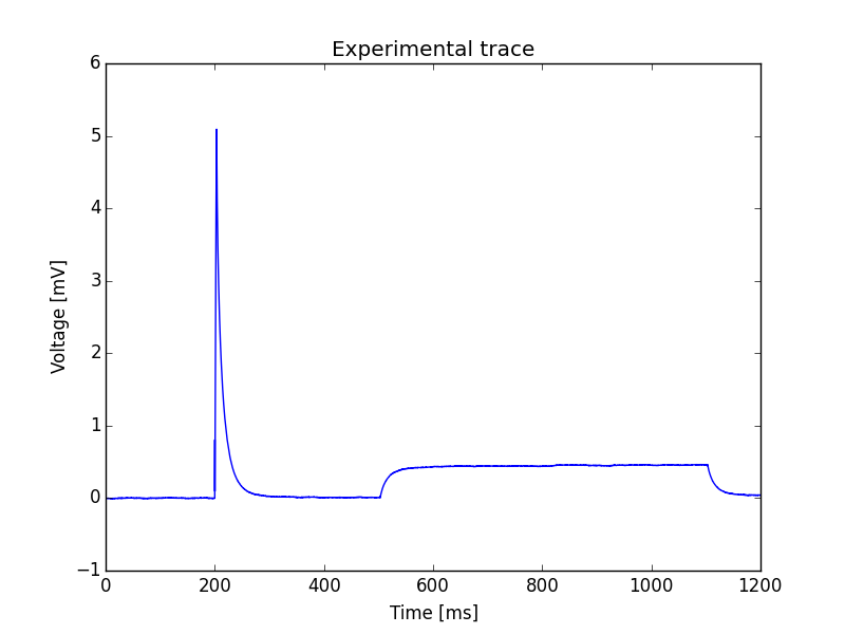
gpas paraméternél a különböző áraminjekciókhoz tartozó konstans szakaszok számítanak!

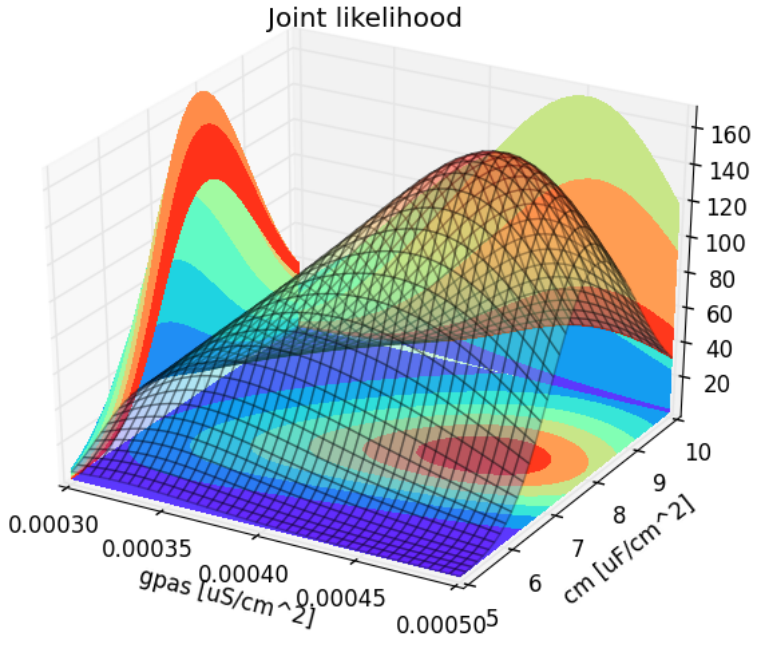
Valós kísérleti adatok

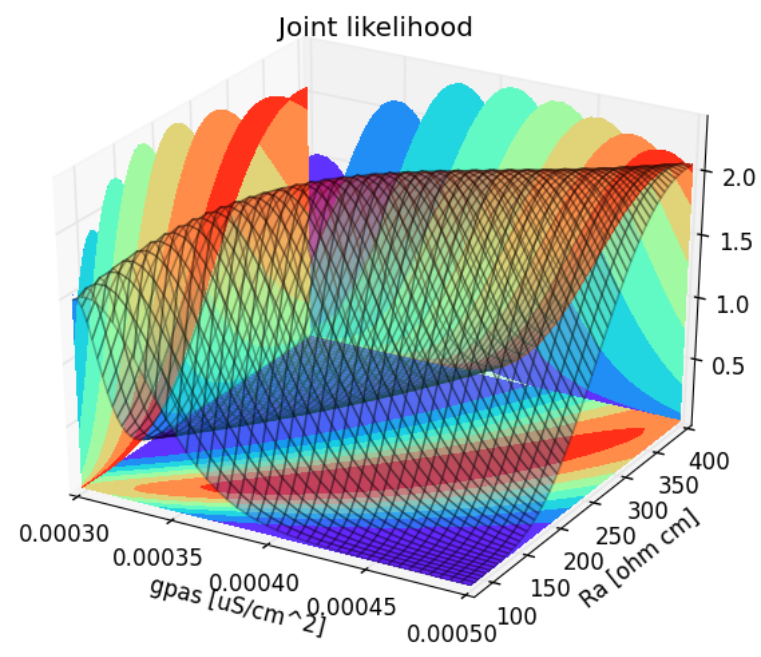
Inferencia valós kísérleti adatokon

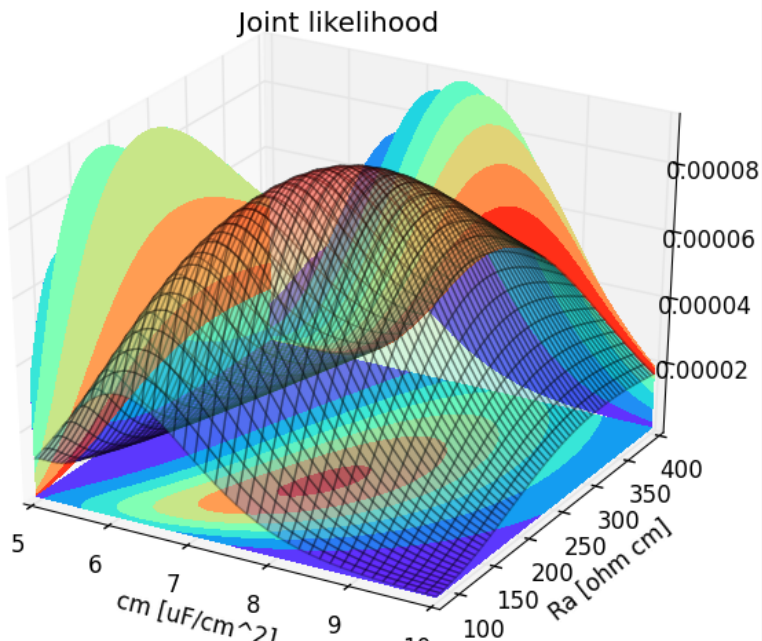
Valós sejten végzett mérésekre is alkalmaztuk a paraméterbecslési módszerünk. Ehhez felhasználtuk a sejtről készített anatómiailag részletes modellt, valamint a sejt áramimpulzus bemenetekre adott (passzív) feszültségválaszát.





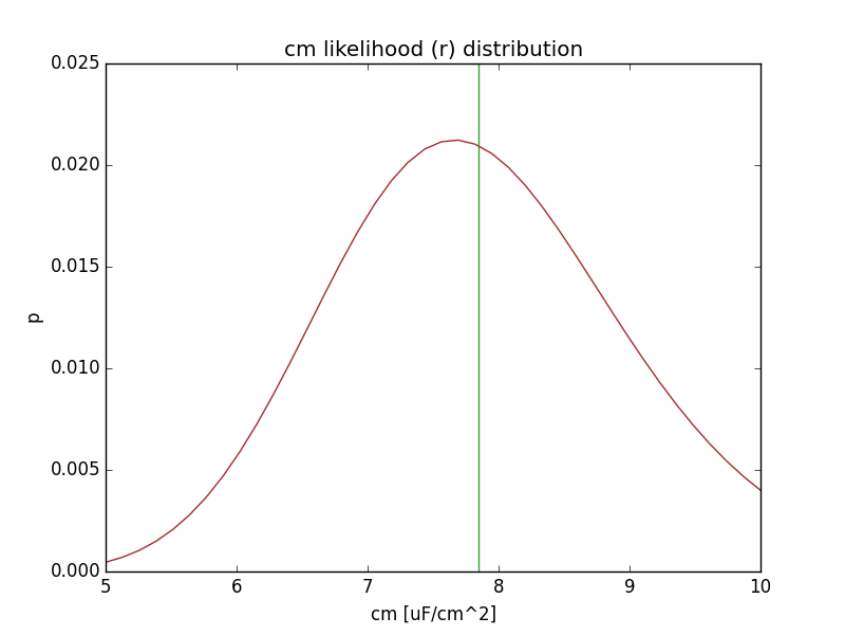


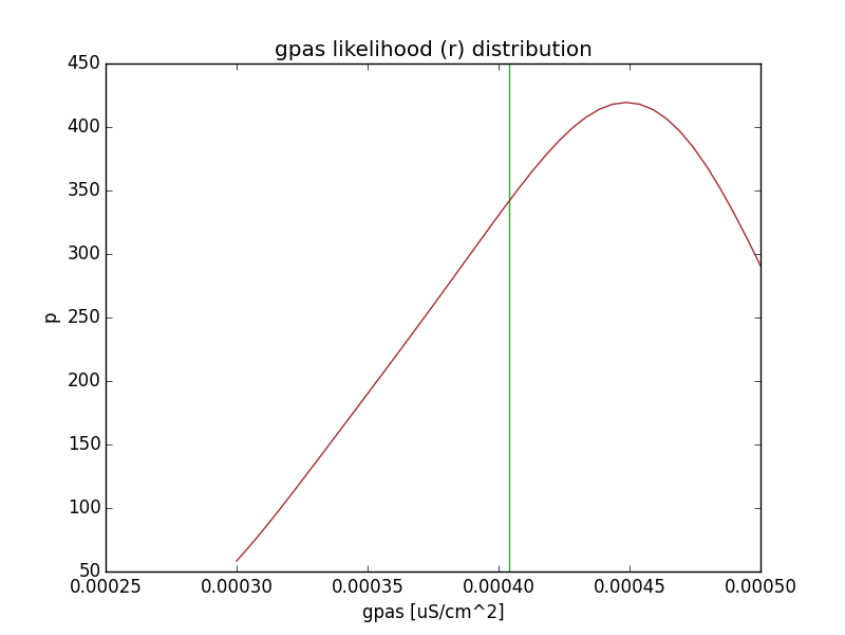


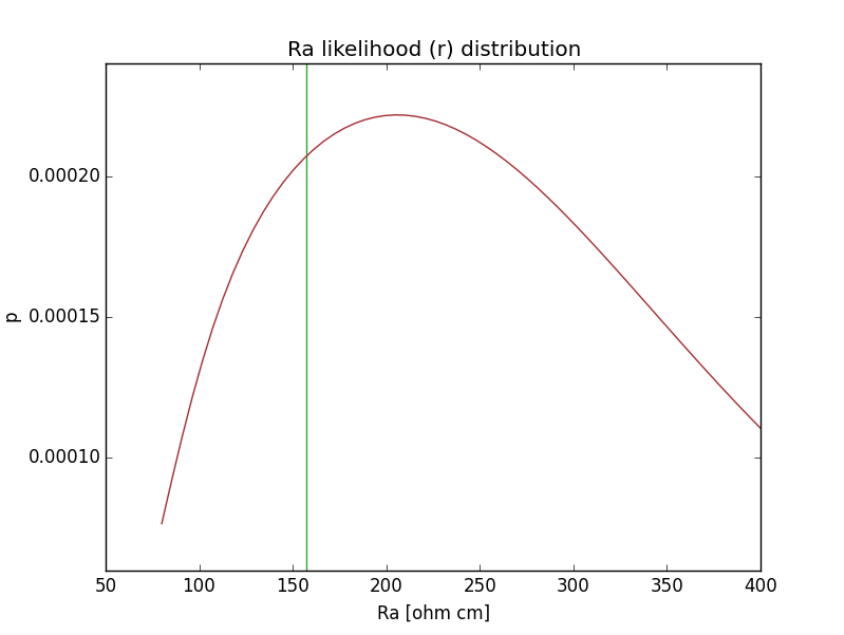


Eredmény

Háromparaméteres inferencia különböző együttes likelihood eloszlásai. $\sigma = 2$ szórású fehér zaj alkalmazása mellett.







Eredmény

Háromparaméteres inferencia különböző paramétereinek marginális likelihood eloszlásai. A függőleges zöld vonal az optimalizációs algoritmus által talált legjobban illeszkedő értékeket mutatja.

Színes zajos bajok

-Exponenciálisan lecsengő autókorrelációval rendelkező színes zajjal is próbálkoztunk, de ez nem tűnik alkalmas zajmodellnek.

-Kísérleti adatokra nem is illeszkedik jól ez a függvény.

-Viszont a kísérleti adatsor nem elég hosszú hogy a függvény aszimptotikus viselkedését lássuk.

-Így nem tudtunk új zajmodellt alkotni, hosszabb baseline kellene.

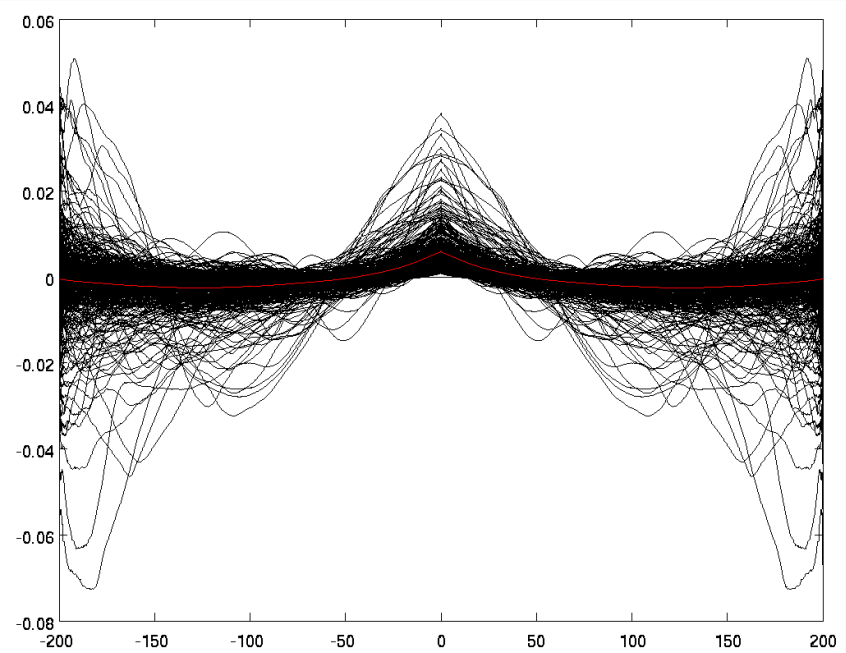
Színes zajos bajok

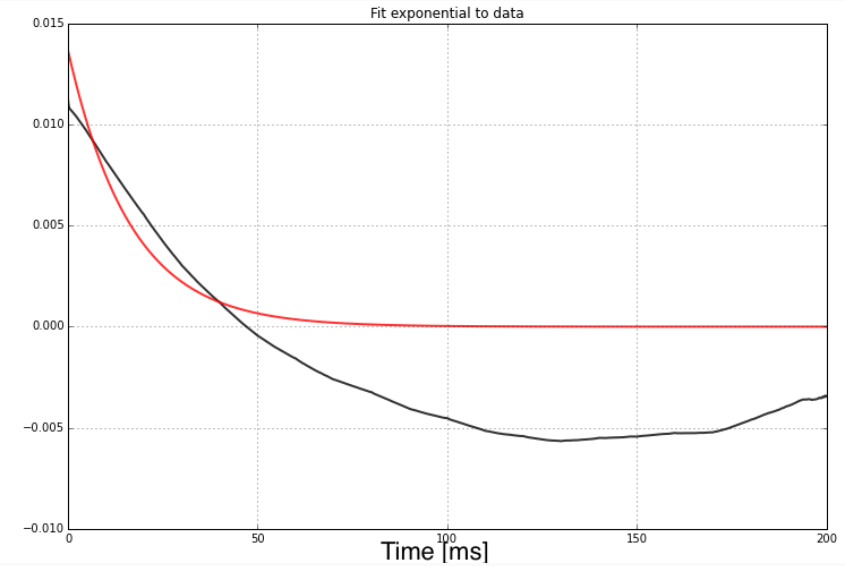
-Exponenciálisan lecsengő autókorrelációval rendelkező színes zajjal is próbálkoztunk, de ez nem tűnik alkalmas zajmodellnek.

-Kísérleti adatokra nem is illeszkedik jól ez a függvény.

-Viszont a kísérleti adatsor nem elég hosszú hogy a függvény aszimptotikus viselkedését lássuk.

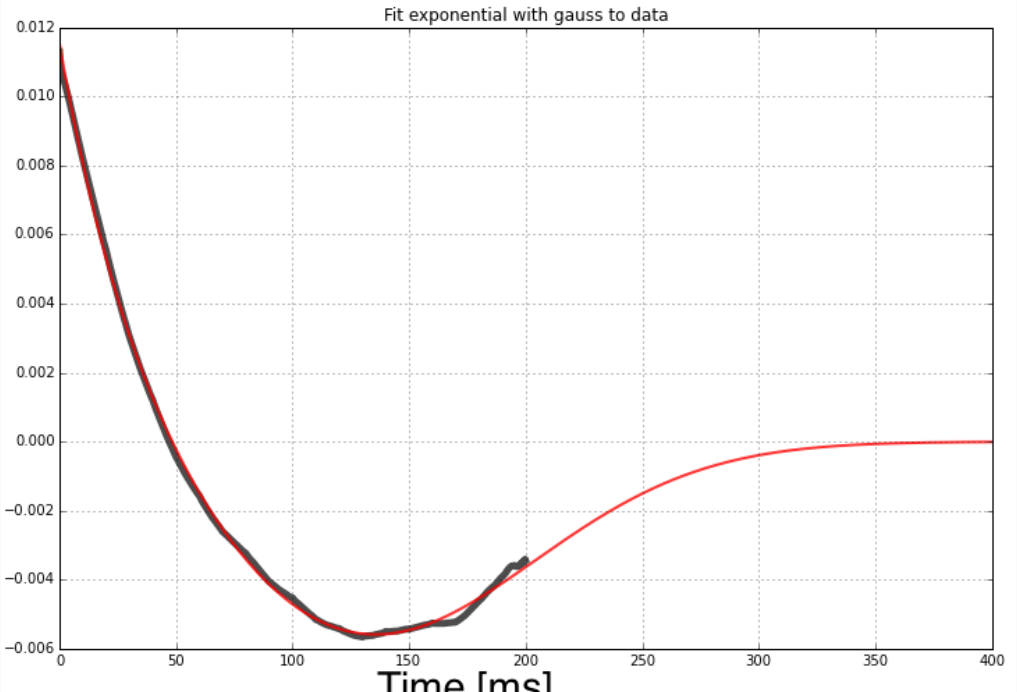
-Így nem tudtunk új zajmodellt alkotni, hosszabb baseline kellene.





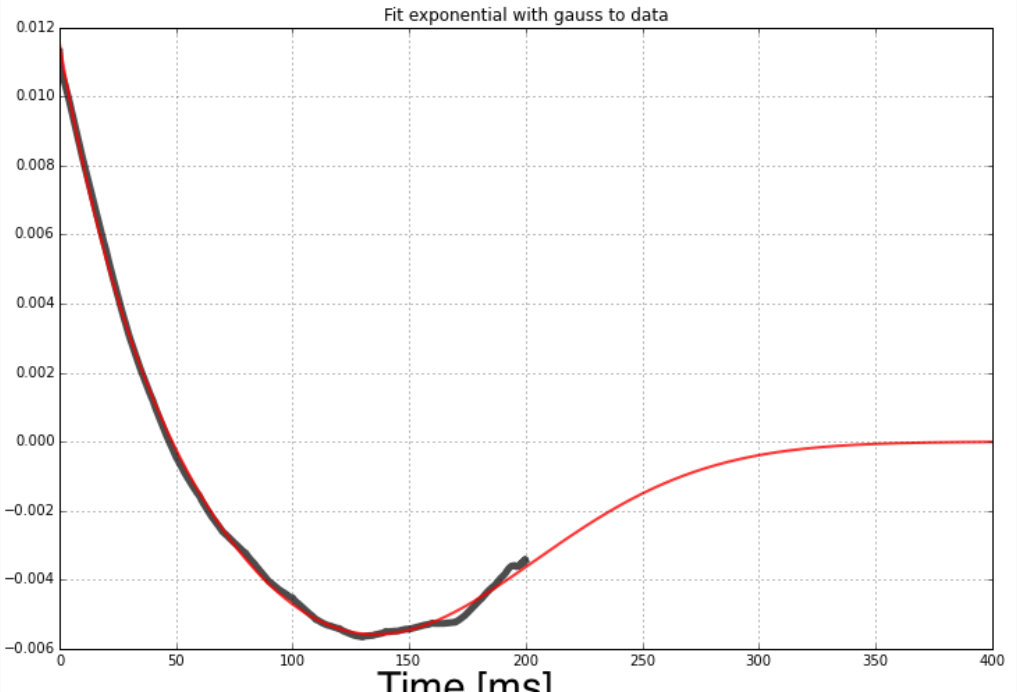
Színes zajos bajok

-Exponenciálisan lecsengő autókorrelációval rendelkező színes zajjal is próbálkoztunk, de ez nem tűnik alkalmas zajmodellnek.
-Kísérleti adatokra nem is illeszkedik jól ez a függvény.
-Viszont a kísérleti adatsor nem elég hosszú hogy a függvény aszimptotikus viselkedését lássuk.
-Így nem tudtunk új zajmodellt alkotni, hosszabb baseline kellene.



Színes zajos bajok

-Exponenciálisan lecsengő autókorrelációval rendelkező színes zajjal is próbálkoztunk, de ez nem tűnik alkalmas zajmodellnek.
-Kísérleti adatokra nem is illeszkedik jól ez a függvény.
-Viszont a kísérleti adatsor nem elég hosszú hogy a függvény aszimptotikus viselkedését lássuk.
-Így nem tudtunk új zajmodellt alkotni, hosszabb baseline kellene.



hogyan tovább?

Összegzés

-Először is a zajmodell pontosítása a legfontosabb. Ehhez hosszabb adatsorra lenne szükség.

-A program elméletben bármennyi paramétert tud kezelni, de gyakorlatban már háromnál is nagyon lassú. Magasabb dimenziós problémákhoz közelítő numerikus módszerek alkalmazása szükséges.

-Végső cél az adott kísérleti protokoll információtartalmának előzetes megjóslása és a leghatékonyabb összeállítás ajánlása a kísérletezőknek.

Összegzés

-Először is a zajmodell pontosítása a legfontosabb. Ehhez hosszabb adatsorra lenne szükség.

-A program elméletben bármennyi paramétert tud kezelni, de gyakorlatban már háromnál is nagyon lassú. Magasabb dimenziós problémákhoz közelítő numerikus módszerek alkalmazása szükséges.

-Végső cél az adott kísérleti protokoll információtartalmának előzetes megjóslása és a leghatékonyabb összeállítás ajánlása a kísérletezőknek.

Összegzés

-Először is a zajmodell pontosítása a legfontosabb. Ehhez hosszabb adatsorra lenne szükség.

-A program elméletben bármennyi paramétert tud kezelni, de gyakorlatban már háromnál is nagyon lassú. Magasabb dimenziós problémákhoz közelítő numerikus módszerek alkalmazása szükséges.

-Végső cél az adott kísérleti protokoll információtartalmának előzetes megjóslása és a leghatékonyabb összeállítás ajánlása a kísérletezőknek.